

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

ARIELI LAURINDO BELLETTINI

**ANÁLISE DA CURVA DE PERMANÊNCIA DIÁRIA E MENSAL PARA
A BACIA DO RIO TUBARÃO, SC**

Araranguá, SC
2019

ARIELI LAURINDO BELLETTINI

**ANÁLISE DA CURVA DE PERMANÊNCIA DIÁRIA E MENSA
PARA A BACIA DO RIO TUBARÃO, SC**

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação submetido ao Departamento de Energia e Sustentabilidade do Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde (CTS) da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Engenheira de Bacharel Engenharia de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Cláudia Weber Corseuil.

Araranguá

2019

Ficha de identificação da obra

Bellettini, Arieli
ANÁLISE DA CURVA DE PERMANÊNCIA DIÁRIA E MENSAL E
DIÁRIA PARA A BACIA DO RIO TUBARÃO, SC / Arieli Bellettini
; orientador, Prof. Dr. Cláudia Weber Corseuil, 2019.
62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Araranguá,
Graduação em Engenharia de Energia, Araranguá, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Energia. 2. vazão de permanência. 3.
regionalização de vazão . 4. potencial hidrelétricp. I.
Weber Corseuil, Prof. Dr. Cláudia . II. Universidade
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia de
Energia. III. Título.

ARIELI LAURINDO BELLETTINI

**ANÁLISE DA CURVA DE PERMANÊNCIA DIÁRIA E MENSAL PARA
A BACIA DO RIO TUBARÃO, SC**

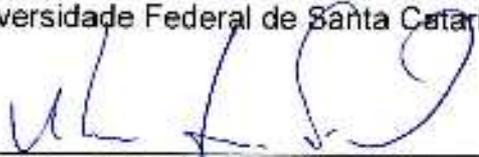
Trabalho de Conclusão de Curso,
apresentado à Universidade Federal de
Santa Catarina, como parte das
exigências para a obtenção do título de
Engenheiro(a) de Energia.

Araranguá, 09 de dezembro de 2019.

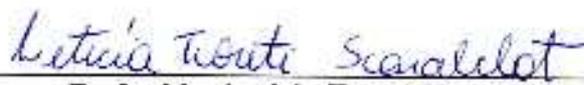
BANCA EXAMINADORA



Profa. Dra. Cláudia Weber Corseuil (Orientadora)
Universidade Federal de Santa Catarina



Prof. Dr. Alvaro José Back
Universidade do Extremo Sul Catarinense



Profa. Me. Leticia Toret Scarabelot
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus amados pais.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por iluminar, guiar e abençoar toda a minha trajetória de vida.

Aos meus familiares, em especial aos meus pais Aristeu e Angelina e minha irmã Adriéli, que não mediram esforços para me ajudar ao longo de toda minha vida.

Aos professores da Universidade Federal de Santa Catarina, pela dedicação ao ensino.

Agradeço por todo suporte e conhecimento transmitido pela minha orientadora e professora, Cláudia Weber Corseuil.

Ao professor Álvaro José Back pelo auxílio na realização deste e de outros trabalhos. À Universidade Federal de Santa Catarina.

Aos meus amigos e colegas, em especial, Hanna, Murillo, Gabriel, William, Ketryn, Richard e Maria Eduarda por sempre me apoiarem e ajudarem nessa caminhada. Um agradecimento especial á Gabriela, por todo suporte em todos os momentos da graduação.

Ao meu namorado Akio, que esteve ao meu lado nas dificuldades e alegrias e que não hesitou em me ajudar ao longo dessa trajetória.

Agradeço a BATERAAACA, por todos os momentos de descontração e alegria.

Aos meus amigos e companheiros diários do laboratório da universidade, Gabriela, Gardênia, Rafael, Eduardo, Fernanda e um agradecimento especial a Amarfelina, que esteve ao meu lado em toda a realização desse trabalho.

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

RESUMO

O estudo da vazão de uma bacia hidrográfica é imprescindível para a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. Quando não há conhecimento da disponibilidade hídrica tem-se dificuldade em gerenciar os diversos usos da água em uma bacia hidrográfica. No Brasil, a vazão mínima permite avaliar a disponibilidade hídrica de uma região, para verificar se atende ou não às necessidades de demanda de água pelos diferentes usos. A vazão mínima pode ser avaliada por meio de curvas de permanência. Assim, o presente trabalho teve por objetivo estimar o potencial de aproveitamento hidrelétrico, com base na vazão de referência Q98, usando a curva de permanência mensal e diária para a bacia hidrográfica do rio Tubarão (4.735 km²), localizada no sul de Santa Catarina. Para a elaboração das curvas de permanência foram utilizadas séries históricas de 16 estações fluviométricas presentes na bacia de estudo. A bacia de estudo foi dividida em 16 sub-bacias, sendo a exutória (seção de saída) de cada uma, definida no local onde está instalada uma estação fluviométrica. Para a regionalização da Q98 utilizou-se o método tradicional com 5 variáveis (área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade do rio principal e densidade de drenagem) e a precipitação média anual. Foram testados os modelos (i) linear; (ii) potencial; (iii) exponencial; (iv) logarítmico e (v) recíproco. Os resultados mostraram que área de drenagem foi a variável com maior correlação com vazão ($r = 0,863$ e $0,876$ para as vazões diárias e mensais, respectivamente). O modelo linear foi o que apresentou o melhor ajuste para as vazões analisadas ($R^2 = 0,74524$). As vazões diárias e mensais regionalizadas para a bacia do rio Tubarão foram $33,33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ e $44,23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectivamente. Constatou-se que, a vazão mensal superestima a potência hidráulica em 25 %, o que pode influenciar no dimensionamento dos projetos hidrelétricos na bacia de estudo.

Palavras-chave: Curva de permanência. Regionalização da Q98. Potencial hidrelétrico.

ABSTRACT

The study of basin flow is essential for the management of water resources. When there is no knowledge of water availability, it is difficult to manage the many uses of water in a basin. In Brazil, the minimum flow rate allows to evaluate the water availability of a region, to verify whether or not it meets the needs of water demand by different uses. The minimum flow rate can be assessed by permanence curves. Thus, the present study aimed to estimate the hydroelectric potential, based on the Q98 reference flow, using a monthly and daily permanence curve for the Tubarão River basin (4,735 km²), located in the south of Santa Catarina. For the development of the permanence curves, historical series of 16 fluvimetric stations in the study basin were used. The study basin was divided into 16 sub-basins, with the exutory (exit section) of each one defined at the location where a fluvimetric station is installed. For the regionalization of Q98 it has been used the traditional method with 5 variables (drainage area, main river length, main river slope and drainage density) and the average annual rainfall. The following models were tested (i) linear; (ii) potential; (iii) exponential; (iv) logarithmic and (v) reciprocal. The results showed that drainage area was the variable with the highest correlation with flow ($r = 0.863$ and 0.876 for daily and monthly flows, respectively). The linear model presented the best fit for the flow rates analyzed ($R^2 = 0.74524$). The daily and monthly regionalized flows for the Tubarão River basin were $33.33 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and $44.23 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, respectively. It was found that the monthly flow rate overestimates the hydraulic potency by 25%, which may influence the design of hydroelectric projects in the study basin.

Keywords: Permanence curve. Regionalization of Q98. Hydroelectric potential.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.....	18
Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Tubarão.	28
Figura 3. Localização das estações fluviométricas da bacia em estudo.	31
Figura 4. Localização das estações pluviométricas da bacia em estudo.	32
Figura 5. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84598002.	39
Figura 6. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84600000.	40
Figura 7. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84300000.	40
Figura 8. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84500000.	40
Figura 9. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84520000.	41
Figura 10. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84520010.	41
Figura 11. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84541000.	41
Figura 12. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84551000.	42
Figura 13. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84559800.	42
Figura 14. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84560002.	42
Figura 15. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84560000.	43
Figura 16. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84250008.	43
Figura 17. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84250000.	43
Figura 18. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84580000.	44
Figura 19. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84580500.	44
Figura 20. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84249998.	44
Figura 21. Gráfico das vazões Q98 com a área.	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Empreendimentos hidrelétricos em operação no Brasil.	19
Tabela 2. Empreendimentos hidrelétricos em Santa Catarina.	19
Tabela 3. Classificação das PCH's quanto à potência e queda de projeto.	20
Tabela 4. Descrições das estações fluviométricas analisadas.	30
Tabela 5. Descrições das estações pluviométricas analisadas.	31
Tabela 6. Valores de N utilizados para o cálculo da curva de permanência.	34
Tabela 7. Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.	35
Tabela 8. Vazões de permanência diária e mensal para a BHRT.	45
Tabela 9. Vazão de permanência Q98 diária e mensal para a BHRT.	47
Tabela 10. Características físicas para as sub bacias da BHRT.	47
Tabela 11. Precipitação média para as sub bacias da BHRT.	49
Tabela 12. Coeficiente de correlação das características da BHRT.	50
Tabela 13. Equação de regionalização de vazão para a BHRT.	50
Tabela 14. Coeficiente de determinação (R^2).	51
Tabela 15. Vazões observadas e regionalizadas diárias para as sub bacias da BHRT.	53
Tabela 16. Vazões observadas e regionalizadas mensais para as sub bacias da BHRT.	54
Tabela 17. Vazão regionalizada para a BHRT.	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA- Agência Nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BEN - Balanço Energético Nacional

BHRT - Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão

CGH - Centrais Geradoras Hidrelétrica

DRDH - Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MDE – Modelo Digital de Elevação

MME – Ministério de Minas e Energia

PCH - Pequenas Centrais Hidrelétricas

SDS - Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável

UHE - Usinas Hidrelétricas

USGS - United States Geological Survey

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos.....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	Aspectos gerais do aproveitamento hidrelétrico no Brasil	18
2.2	Estudo do potencial hidrelétrico em bacias hidrográficas.....	21
2.3	Vazão de referência pelo método da curva de permanência	23
2.4	Regionalização da vazão	25
3	MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1	Área de estudo	28
3.2	Material	29
3.2.1	Estações de monitoramento hidrológico.....	29
3.2.2	Dados espaciais	32
3.2.3	Softwares	32
3.3	Métodos	33
3.3.1	Curva de permanência mensal e diária.....	33
3.4	Regionalização de Vazão pelo Método Tradicional.....	34
3.5	Potencial de geração de energia elétrica.....	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
4.1	Curva de permanência mensal e diária.....	39
4.2	Regionalização de vazão	47
4.3	Potencial de geração de energia	54
5	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57
	APÊNDICE A – Sub bacias da BHRT.	63

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para sobrevivência dos seres vivos. Além de ser essencial à manutenção da vida, a água pode ser captada pelo homem e utilizada para diversas finalidades. Os principais usos das águas são para o abastecimento público, agricultura, pecuária, lazer e geração de energia elétrica (KOBAYAMA et al., 2008).

O uso crescente dos recursos hídricos traz à tona questões de organização, quanto à sua disponibilidade e seu aproveitamento. Assim, o estudo da vazão de uma bacia hidrográfica é imprescindível para a gestão e o gerenciamento dos recursos hídricos. Quando não há conhecimento da disponibilidade hídrica tem-se dificuldade em gerenciar os diversos usos da água em uma bacia (ANA, 2011).

No Brasil, a vazão mínima permite avaliar a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, para verificar se atende ou não às necessidades de demanda de água pelos diferentes usos. A vazão mínima está associada ao comportamento hidrológico de uma bacia, que pode ser analisada por meio de uma série histórica de dados (ANA, 2005).

Por isso, é fundamental o correto dimensionamento dessa vazão, uma vez que, o uso racional da água, depende de sua adequada determinação, para evitar a escassez desse recurso, durante um período de estiagem, garantido uma quantidade com a finalidade de atender as demandas mais urgentes, como os ecossistemas aquáticos, o abastecimento humano e a dessedentação animal.

A vazão mínima de referência é fundamental no estudo de potencial hidrelétrico. No entanto, a estimativa das vazões mínimas de um rio, é feita com base na série contínua de dados ao longo de um período de tempo, depende de inúmeros fatores e variáveis, se tornando uma tarefa difícil, pois está relacionada à topografia (relevo), geologia, uso da terra, clima, entre outros (SOUZA e SANTOS, 2013).

A vazão mínima pode ser analisada por meio de curvas de permanência, a qual, segundo Voguel e Fennessey (1994), representa a relação entre a magnitude e a frequência com que as vazões diárias, semanal, mensal, (ou outro intervalo de tempo) podem ser igualadas ou excedidas, ao longo de um período histórico. Essa curva é gráfico simples, porém abrangente, da variabilidade histórica geral associada ao fluxo de água em uma bacia hidrográfica.

A curva de permanência, de acordo com Tucci (2012), pode ser elaborada com dados de vazões médias diárias, mensais ou anuais. No entanto, os dados diários são adequados para uma

análise mais precisa, pois ao usar dados mensais ou anuais, ao quais são frequentemente adotados em estudos de disponibilidade hídrica, os valores de vazão tendem a ser, geralmente, superestimados.

No Brasil, a principal matriz energética é hidrelétrica (ANEEL, 2008). No entanto, para o aproveitamento dos recursos hídricos para geração de energia, requer a outorga de uso da água (ANA, 2011). Sendo o método da curva de permanência o mais utilizado para definir os critérios de outorga de uso dos recursos hídricos. No país, cada estado define as suas vazões de outorga de acordo com as características das bacias e dos usos da água (PEREIRA, 2018).

Pereira et al. (2018), citam como exemplo, os estados de Rondônia, Goiás, Alagoas e Paraná, que outorgam vazões de até 30% da Q95, 50% da Q95, 90% da Q90, 50% da Q95 de seus rios, respectivamente. Sendo a Q50, Q90 e Q95 se referem a 50%, 90% e 95% do tempo, respectivamente, em que as vazões são igualadas ou superadas.

No estado de São Paulo, segundo Wolff (2014), a vazão de outorga é a Q7,10, que é calculada com base na média mínima de 7 dias consecutivos e 10 anos de período de retorno.

A região sul de Santa Catarina tem uma diversidade de atividades que utilizam a água para os seus processos produtivos, como, mineração, agricultura e empreendimentos hidrelétricos. Essas atividades necessitam de concessão de outorga de uso da água. Em Santa Catarina, de acordo com a SDS (2008), para aproveitamento hidrelétrico é outorgado 50% da Q98.

O conhecimento das vazões médias e mínimas é de fundamental importância para o planejamento do uso e gestão compartilhada dos recursos hídricos. O estudo da disponibilidade hídrica em uma bacia hidrográfica é evidenciado pelo seu conhecimento.

No entanto, a estimativa da disponibilidade hídrica necessita de dados medidos por estações (pluviométricas e fluviométricas) instaladas em determinados locais. Porém, esses dados são escassos, ou não possuem séries históricas adequadas para a análise de vazão mínima. Assim, em regiões com carência de estações de medição de vazão, usam-se metodologias para transferência de dados para outros locais (SILVEIRA et al., 1998; SOUZA, 2011; PESSOA, 2015; BACK et al., 2019; BAZZO et al., 2017).

Quando há interesse em se analisar a disponibilidade hídrica em locais sem monitoramento de dados, utiliza-se métodos de regionalização de vazões (SOUZA, 2011).

O método de regionalização consiste na transferência de informações hidrológicas, de um local com dados monitorados, para outro sem dados, em regiões de comportamento hidrológico semelhante (TUCCI, 2005).

A bacia do rio Tubarão, tem um grande potencial para aproveitamento de energia hidrelétrica. Essa bacia, segundo o Banco de Informações de Geração da ANEEL, possui 5 Centrais Geradoras Hidrelétrica (CGH) e 6 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH). Sendo, portanto, de grande importância conhecer as vazões mínimas de referência, para o gerenciamento dos recursos hídricos, já que essas vazões são utilizadas para a outorga de uso da água, definindo a quantidade de água a ser utilizada para o aproveitamento hidrelétrico.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Mudança no potencial de aproveitamento hidrelétrico estimado pela de curva de permanência com séries de dados mensais e diários.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Avaliar as vazões referência na série da dados mensal e diária Q98% pelo método da curva de permanência;
- Avaliar as vazões de referência Q98 determinadas com base nas séries de vazões diárias e mensais;
- Avaliar o potencial de geração de energia da bacia do rio Tubarão, com base na Q98% diária e mensal regionalizada.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Aspectos gerais do aproveitamento hidrelétrico no Brasil

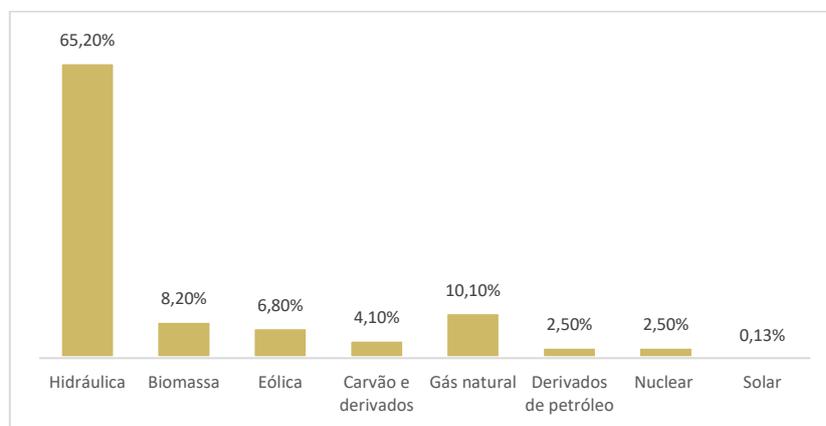
Quando relacionado a matriz energética, o Brasil apresenta uma origem predominantemente renovável (hídrica, biomassa, eólica e solar), essas fontes juntas representam 80,4 % da oferta de energia elétrica no país, esse montante se dá a geração de energia nacional mais as importações (EPE, 2018).

Produzir energia por meio de fontes renováveis traz diversos benefícios para qualquer país e, possuir diversidade em uma matriz energética, além de segurança, também minimiza as dependências do fornecimento externo.

Então é possível proporcionar um serviço básico para o avanço socioeconômico (ANEEL, 2008). Tendo em vista esse contexto, o potencial hidrelétrico apresenta destaque.

Segundo o Balanço Energético Nacional (BEN) de 2018, a fonte hídrica responde por 65,2 % da oferta interna de energia elétrica no país, como mostra a Figura 1.

Figura 1. Oferta Interna de Energia Elétrica por Fonte no Brasil.



Fonte: Adaptado Balanço Energético Nacional, 2018.

No país, no ano de 2017, a de geração de energia elétrica (centrais de serviço público e autoprodutoras) alcançou 157.112 MW, isto é um acréscimo de 6.775 MW em relação ao ano anterior que foi de 151.337 MW. Durante essa expansão de carga instalada, as centrais hidráulicas, segundo o BEN (2018), contribuíram com 3.350 MW ou seja 49,5% do total adicionado (EPE 2018).

Atualmente, segundo dados do Banco de Informações de Geração da ANEEL, no Brasil existem 1356 empreendimentos de fonte hidrelétrica em operação, 34 empreendimentos em construção e 112 empreendimentos em construção não iniciada (BIGa, 2019). A Tabela 1 apresenta as quantidades e potências dos empreendimentos de fonte hidrelétrica em operação no Brasil.

Tabela 1. Empreendimentos hidrelétricos em operação no Brasil.

Tipo	Quantidade	Potência Outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)
Central Geradora Hidrelétrica	713	744.410	744.224
Pequena Central Hidrelétrica	425	5.271.549	5.232.466
Usina Hidrelétrica	218	102.933.458	100.734.688
Total	1.356	108.949.417	106.720.378

Fonte: Adaptado Banco de Informações de Geração, 2019.

O Estado de Santa Catarina, assim como o Brasil, possui uma matriz energética com predominância da fonte hídrica e no Estado cerca de 80 % da geração de energia elétrica vem de empreendimentos hidrelétricos (BIGb, 2019). A Tabela 2 apresenta as quantidades e potências dos empreendimentos de fonte hidrelétrica em Santa Catarina.

Tabela 2. Empreendimentos hidrelétricos em Santa Catarina.

Empreendimentos em operação		
Tipo	Quantidade	Potência (kW)
Central Geradora Hidrelétrica	194	238.289
Pequena Central Hidrelétrica	51	520.066
Usina Hidrelétrica	14	5.621.742
Empreendimentos em construção		
Tipo	Quantidade	Potência (kW)
Central Geradora Hidrelétrica	1	1.000
Pequena Central Hidrelétrica	7	64.540
Usina Hidrelétrica	1	141.900
Empreendimentos em construção não iniciada		
Tipo	Quantidade	Potência (kW)
Pequena Central Hidrelétrica	20	227.816
Usina Hidrelétrica	1	292.000

Fonte: Adaptado Banco de Informações de Geração, 2019.

Os empreendimentos hidrelétricos são classificados conforme sua potência. As Centrais Geradoras Hidráulicas (CGH) são empreendimentos com potência máxima de até 1 MW. As Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) são os aproveitamentos com potência entre 1 MW e 30 MW e que possuem área de reservatório inferior a 3 km². Já as Usinas Hidrelétricas (UHE) consistem em aproveitamentos com potência superior a 30 MW (ANA 2011).

De acordo com a Eletrobrás (2000), considerando a disponibilidade hídrica, as PCHs são classificadas com relação a sua capacidade de regularização dos reservatórios. Assim elas podem ser; (i) fio d'água, onde as vazões de estiagem são maiores ou iguais a vazão necessária para atender a demanda máxima prevista; (ii) de acumulação (regularizada diariamente), quando há um reservatório para suprir as necessidades em períodos de estiagem do rio, pois as vazões de estiagem são inferiores a necessária; (iii) de acumulação (regularizada mensalmente), na qual a potência é regularizada pela quantidade de água do reservatório, levando em consideração as vazões médias mensais no seu dimensionamento.

Ainda, segundo a Eletrobras 2000, as PCHs podem ser classificadas quanto à potência instalada e também referente à queda de projeto (queda d'água), como mostrado na Tabela 3, se faz necessário considerar os dois parâmetros juntos, já que a classificação isoladamente não é adequada (ELETROBRAS, 2000).

Tabela 3. Classificação das PCH's quanto à potência e queda de projeto.

Classificação das PCHs	Potência - P (kW)	Queda de projeto – Hd (m)		
		Baixa	Média	Alta
Micro	$P < 100$	$Hd < 15$	$15 < Hd < 50$	$Hd > 50$
Mini	$100 < P < 1000$	$Hd < 20$	$20 < Hd < 100$	$Hd > 100$
Pequenas	$1000 < P < 30000$	$Hd < 25$	$25 < Hd < 130$	$Hd > 130$

Fonte: Eletrobras, 2000.

Sendo assim, o correto dimensionamento de um empreendimento hidrelétrico depende diretamente da vazão a ser empregada, bem como da altura de queda deste. Portanto, a exata definição dessas variáveis é primordial para a classificação e caracterização do empreendimento hidrelétrico.

2.2 Estudo do potencial hidrelétrico em bacias hidrográficas

Quando se trata da implementação de uma usina hidrelétrica, o MME 2007 discorre que a estimativa do potencial hidrelétrico é o primeiro passo a ser seguido. O potencial hidrelétrico é o potencial possível de ser atendido visando a técnica e a viabilidade econômica aproveitado nas condições atuais de tecnologia (EPE, 2018). Quando se trata da estimativa de potencial hidrelétrico é primordial conhecer a disponibilidade hídrica do local.

O conhecimento dos processos hidrológicos, destacando-se o regime de vazões, e a localização de um curso d'água, depende da análise das variáveis hidrológicas que as caracterizam em uma série histórica. No entanto o comportamento dessas variáveis é estocástico e, por isso, são necessárias amostra confiáveis e representativas para sua estimativa (TUCCI, 2002).

Na etapa de estimativa do potencial de geração de energia hidrelétrica ocorre a análise preliminar das características da bacia hidrográfica, seus aspectos físicos, hidrológicos, geológicos e ambientais, verificando, assim, sua disponibilidade para a geração de energia elétrica. Essa estimativa do potencial hidrelétrico e de custo do aproveitamento da bacia é a primeira etapa para a instalação de uma usina hidroelétrica, a partir dela a fase seguinte, que compreende o Inventário Hidrelétrico, adquire sua definição de propriedade (MME, 2007).

Segundo a legislação de recursos hídricos instituída pela lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, o aproveitamento de potenciais hidrelétricos é um uso sujeito à outorga. Nesse caso, há um procedimento a ser seguido para a utilização de corpos d'água são de domínio da União ou dos estados (ANA, 2011).

Conforme a ANA (2011), o primeiro passo é a solicitação da Declaração de Reserva de Disponibilidade Hídrica (DRDH) feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) para a ANA, ou para o órgão gestor das águas estaduais. Essa declaração é feita, tanto para pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), quanto para usinas hidrelétricas (UHE). Com a obtenção da DRDH, a Aneel autoriza ou lícita o aproveitamento do potencial hidrelétrico.

No caso de PCHs é concedido uma autorização e uma concessão para as usinas hidrelétricas. Em seguida, a DRDH é transformada por solicitação da Aneel em outorga para a empresa que recebe a autorização ou concessão (ANA, 2011).

Na implementação de empreendimentos são realizadas análises técnicas, que se dividem em três aspectos principais: (i) a análise hidrológica, que considera as condições do curso d'água, a curva-chave da seção do rio, as vazões máximas e mínimas, os sedimentos em

suspensão, bem como a qualidade da água (ii) do empreendimento, onde consta a caracterização da obra e os seus impactos, desde a estrutura hidráulica até as condições de operação e monitoramento (iii) dos usos múltiplos o qual será elaborado os cenários de desenvolvimento e avaliado o potencial de uso do reservatório, bem com as demandas e os consumos a montante (ANA 2011).

Dentro das análises técnicas para aproveitamento hidrelétrico a vazão mínima se destaca. Este parâmetro é considerado como o fluxo de um rio que ocorre em épocas mais secas, podendo ser definida a partir da curva de permanência das vazões (Souza e Santos 2013).

Segundo Silva e Monteiro (2004), as vazões mínimas servem de referência, pois possuem a condição de alta garantia no manancial. Então, devido a essa condição, são realizados os estudos de uso da água para que, quando as vazões mínimas ocorram, os usos prioritários sejam mantidos. (ANA, 2011).

As vazões mínimas definidas como referência são as que possuem alta permanência no tempo. As vazões de permanência mais utilizadas são as vazões Q90 ou Q95 (ANA, 2011). A Q90 representa a vazão com uma permanência de 90 % do tempo. A Q95 possui este mesmo significado, porém a garantia corresponde a 95 % do tempo de permanência, ou seja, em um determinado corpo d'água a vazão é igual ou superior àquele valor em 95 % do tempo. O valor de Q7,10 é obtido por ser a menor vazão média consecutiva de sete dias que ocorreria com um período de retorno de 10 anos, seu cálculo é feito de maneira probabilística, diferentemente da Q90 e da Q95 onde é feita uma análise de frequências (ANA, 2011).

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

A análise da solicitação de outorga é feita pelo poder público, o qual considera a vazão solicitada para o empreendimento frente ao percentual definido como outorgável em relação a vazão de referência adotada (ANA, 2011).

Segundo Pereira et al. (2018), os estados de Rondônia, Goiás, Alagoas e Paraná, outorgam até 30 % da Q95 (vazão pertencente a 95 % do tempo), 50 % da Q95, 90 % da Q90 (vazão pertencente a 90 % do tempo), 50 % da Q95 de seus rios, respectivamente. Já o estado de São Paulo, estabelece que a vazão de referência para a outorga é a Q7,10, 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 pela série de vazões naturais médias mensais afluentes ao empreendimento, como determina a Portaria da SDS de Santa Catarina, Nº 007 de 03 de novembro de 2009.

Ainda, de acordo com as portarias da SDS de Nº 36 de 29 de julho de 2008, e nº 51 de 02 de novembro de 2008, a vazão de referência é a Q98 sendo a vazão outorgável é equivalente a 50 % desta (SDS, 2008).

Utilizando-se o valor de vazão obtém-se o potencial hidrelétrico, a partir deste segue-se as etapas para a implantação do empreendimento. A segunda etapa é caracterizada por um conjunto de projetos que visa selecionar o melhor equilíbrio entre os custos de implantação, benefícios energéticos e impactos socioambientais. O Inventário Hidrelétrico é feito então com base em dados hidrometeorológicos, energéticos, geológicos e geotécnicos, estudos básicos cartográficos, socioambientais e de usos múltiplos de água. Essa etapa então, resultará um conjunto de aproveitamentos, suas principais características, índices custo/benefício e índices socioambientais (MME, 2007).

Portanto, se faz necessários estudos de vazão para o potencial de geração de energia elétrica, para garantir além do uso sustentável da água, a segurança econômica visando o correto dimensionamento de empreendimentos hidrelétricos. O estudo de potencial hidrelétrico tem a responsabilidade em planejar a utilização adequado o recurso da água, sem comprometer outros usos ou necessidades futuras.

2.3 Vazão de referência pelo método da curva de permanência

As vazões mínimas estão inteiramente relacionadas ao comportamento hidrológico de uma bacia, essas vazões são caracterizadas pelos escoamentos superficiais ao longo de uma série histórica, onde as disponibilidades hídricas podem ou não ter atendido as necessidades de consumo de água daquela região (TUCCI, 2002).

De acordo com Pinto (2006), esta definição não é consensual, pois as vazões mínimas tendem a diferentes significados conforme a finalidade de estudo.

Tucci (2002), descreve que, as vazões mínimas são os valores da série, dentro de uma série histórica de vazões, que não atendem a necessidades da demanda.

Souza e Santos (2013), definem a vazão mínima como o fluxo de um rio que ocorre em épocas mais secas.

Silveira e Silveira (2001), destacam que as vazões mínimas ocorrem nos períodos de estiagem e que isto acontece por conta do esgotamento das reservas de água do subsolo que afloram nas fontes e nas calhas dos rios.

A avaliação das vazões mínimas nas bacias é primordial para estudos de disponibilidade hídrica, pois estas vazões estão vinculadas à períodos críticos de oferta de água (Paiva e Paiva, 2016).

Smakhtin (2001), descreve que, a vazão mínima é descrita pela duração, frequência e magnitude, podendo, assim, representar a disponibilidade natural ao longo da hidrografia.

Os índices de vazões mínimas são utilizados como referência para a previsão ou estimativa de diferentes períodos, como os períodos de estiagem, onde se tem em vista a análise, regulamentação legal e planejamentos de projetos de recuperação ambiental, abastecimento de água e projetos de geração de energia hidrelétrica (TUCCI, 2002).

As vazões diárias, semanais, mensais e anuais de uma determinada área de interesse podem ser representadas pela curva de permanência. Em uma série histórica, a curva mostra a relação entre a vazão e a frequência em que ela é superada ou igualada. A vazão normalmente encontra-se localizada no eixo das ordenadas, correlacionando-se com a percentagem de tempo demonstrada no eixo das abscissas (CRUZ; TUCCI, 2008; Vogel e Fennessey, 1993).

A curva de permanência, como destaca Pinto (2006), demonstra por meio gráfico, a relação entre a magnitude e a frequência das vazões diárias, mensais, anuais, ou de outro intervalo de tempo. Essa curva fornece, de maneira simples e concisa, a variabilidade das vazões do comportamento hidrológico de uma bacia ao longo do tempo.

A curva de permanência é reconhecida com um parâmetro importante de resposta do escoamento de uma bacia, sendo utilizada em diversos estudos, dentre os quais se destacam estudos de potencial hidrelétrico em uma região (TUCCI, 2014).

Na curva de permanência o eixo das abscissas descreve o regime de vazões em que o corpo hídrico depende do escoamento de base, isto é, a vazão é dependente do reservatório dos aquíferos (RODRIGUEZ, 2008).

A curva de permanência de vazões é utilizada para o planejamento e projeto de sistemas de recursos hídricos sendo usada como ferramenta para a outorga de direito de uso da água em alguns estados brasileiros (Naguetti e Pinto, 2007).

Cruz e Tucci (2008), após obter as curvas de permanência com base em dados diários e anuais de séries históricas, fizeram a comparação das permanências geradas no período anual, observaram, então, os efeitos das vazões, concluindo que a curva gerada com dados anuais são

mais representativas para gestão de recursos hídricos, considerando o padrão de outorga, pois os resultados de vazão obtiveram o valor esperado e não apresentam limitações o uso da água para diferentes atividades. Já a série diária tende a apresentar um limite geralmente inferior.

Santos et al. (2015), por meio da curva de permanência obtida com uma série de dados diários do período de janeiro de 2013 a março de 2014, avaliaram as variações de vazões da bacia Cancela - Tamandaí, localizada em Santa Maria-RS, e concluíram que as vazões diárias não apresentam grandes variações ao longo do tempo, apresentando altas vazões somente durante os eventos chuvosos.

No estudo da curva de permanência de vazões do rio Timbó, Santa Catarina, Back et al. (2019), avaliaram a sazonalidade das vazões e concluíram que a curva de permanência mensal superestima os valores de vazão para frequência superiores a 20% em relação a curva de permanência diária.

2.4 Regionalização da vazão

O comportamento hidrológico de bacias hidrográficas possui papel de suma importância no gerenciamento e planejamento dos recursos hídricos (OLIVEIRA, 2013). Quando se trata de locais onde não há registro de dados históricos fluviométricos é essencial o uso de métodos que possam contribuir na obtenção de parâmetros que descrevam o comportamento hidrológico de uma bacia de interesse (PANDEY; NGUYEN, 1999).

Wolff et al. (2014), em seu trabalho discorrem sobre a importância de avaliar as vazões de uma bacia, a qual é possível com a coleta de dados de estações fluviométricas mesmo que estas se encontrem em seções específicas da bacia.

Tendo em vista este contexto, Tucci (2002) descreve que os estudos de regionalização de vazão são uma alternativa adequada para se estimar a disponibilidade hídrica de uma bacia. Estudos como estes baseiam-se na informação hidrológica, onde ocorre a transferência dessa informação de uma região para outra em uma área com comportamento hidrológico semelhante.

A regionalização hidrológica segundo Tucci (2009) baseia-se em um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo os dados disponíveis na região, sendo assim é possível estimar variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com poucos dados.

Segundo Tucci (2014), existem vários métodos de regionalização hidrológica. Esses métodos estudam as relações entre os parâmetros dos modelos, ou as características físicas e climáticas da bacia. Essa relação pode ser avaliada usando: (i) variáveis: onde analisa-se o

comportamento de um processo ou fenômeno, a vazão de uma seção de um rio, por exemplo. (ii) funções: onde as curvas de probabilidade ou de vazões de permanência, são exemplos de funções hidrológicas que podem ser determinadas para uma região com base em dados hidrológicos. (iii) parâmetros: conforme as características físicas de uma bacia, é possível determinar parâmetros de uma função ou de um modelo matemático como, por exemplo, a área da bacia e o tempo de concentração. (iv) indicadores regionais: onde valores médios de variáveis ou proporções possam permitir uma estimativa de variáveis ou análise de seu comportamento.

De acordo com Cupak (2017), as etapas do método de regionalização de vazões podem identificar regiões que apresentam propriedades semelhantes, essas propriedades podem ser físicas, hidrológicas e climáticas, assim é possível acontecer a transferência de informações de bacias que possuem dados hidrológicos monitorados. Em locais onde não existe monitoramento de dados, essa etapa é conhecida como delimitação de regiões homogêneas na bacia.

Segundo Oliveira (2013), uma variedade de métodos vem sendo aplicada em estudos de regionalização de vazões. Os métodos que mais se destacam dentro dos estudos são: (i) metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás (1985): que possui como característica principal as equações de regressão regionais utilizadas em regiões hidrologicamente homogêneas, na qual visa-se obter vazões em qualquer ponto da rede hidrográfica em uma bacia de estudo. (ii) metodologia proposta por Chaves et al. (2002) e o Index Flood, a qual é conhecida como o método da vazão específica e análise de clusters, que é um método interpolativo. A metodologia que foi proposta por Chaves et al. (2002) aplica as técnicas de interpolação e extrapolação dos dados de vazões, essas técnicas dependerão do ponto de interesse em relação aos postos fluviométricos mais próximos. O método da vazão específica ou Index Flood, obtém a vazão em uma seção de interesse utilizando a proporcionalidade entre as vazões e as áreas de drenagem das estações fluviométricos próximas (NOVAES et. al., 2007).

De acordo com Malekinezhad et al., (2011), um dos primeiros passos no estudo de regionalização de vazões é a avaliar se as regiões de interesse possuem comportamento hidrológico semelhante.

Dikbas et al. (2013), destaca que a definição de regiões homogêneas é um procedimento importante na análise regional, porém, é um passo difícil de ser realizado. Regiões que apresentam comportamento hidrológico ou climáticos semelhantes são consideradas regiões hidrologicamente homogêneas.

Segundo Beskow et al. (2014), as bacias devem ser divididas e agrupadas em sub-regiões homogêneas, estas que levam em consideração características físicas, climáticas e hidrológicas, assim é possível obter uma melhor análise da regionalização de vazões.

A maioria das bacias hidrográficas brasileiras apresentam limitações em suas bases de dados, para superar essas situações tem sido desenvolvidos vários métodos de regionalização de vazões, sendo que os mais empregados são aqueles que utilizam equações e parâmetros relacionados com as estatísticas (ELETROBRAS, 1985).

A metodologia tradicional proposta pela Eletrobras (1985), se dá por meio da identificação de regiões hidrologicamente homogêneas, que são consideradas regiões que subdividem uma área maior, tendo como base as características hidrológicas do local (LEMOS, 2006; RIBEIRO; MARQUES; SILVA, 2005).

De acordo com Sousa (2009), o método tradicional pode ser utilizado em estudos de vazões mínimas, máximas, médias e também para regionalização de curvas de regularização e de permanência.

O método tradicional apresenta resultados satisfatórios, sendo amplamente aplicado em estudos de regionalização de vazões. Segundo Lemos (2006), o método tradicional apresenta menores erros relativos médios quando comparado com as outras metodologias.

Baena et al. (2002), no estudo de regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, localizada a montante de Volta Redonda, utilizou o método tradicional, no qual regionalizou as vazões máxima, mínima e média de longo período e concluiu que a área de drenagem foi a variável que melhor explicou o comportamento das diferentes vazões regularizadas.

Ribeiro et al. (2005), em seu estudo de estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a Bacia do rio doce, avaliou três metodologias de regionalização de vazões: a) o método tradicional proposto pela ELETROBRÁS (1985), aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas; b) método de Chaves et al. (2002), que utiliza técnicas de interpolação e extrapolação automáticas; e c) método da interpolação linear. O estudo concluiu que a melhor metodologia de regionalização de vazões para a bacia em estudos foi a tradicional.

3 MATERIAL E MÉTODOS

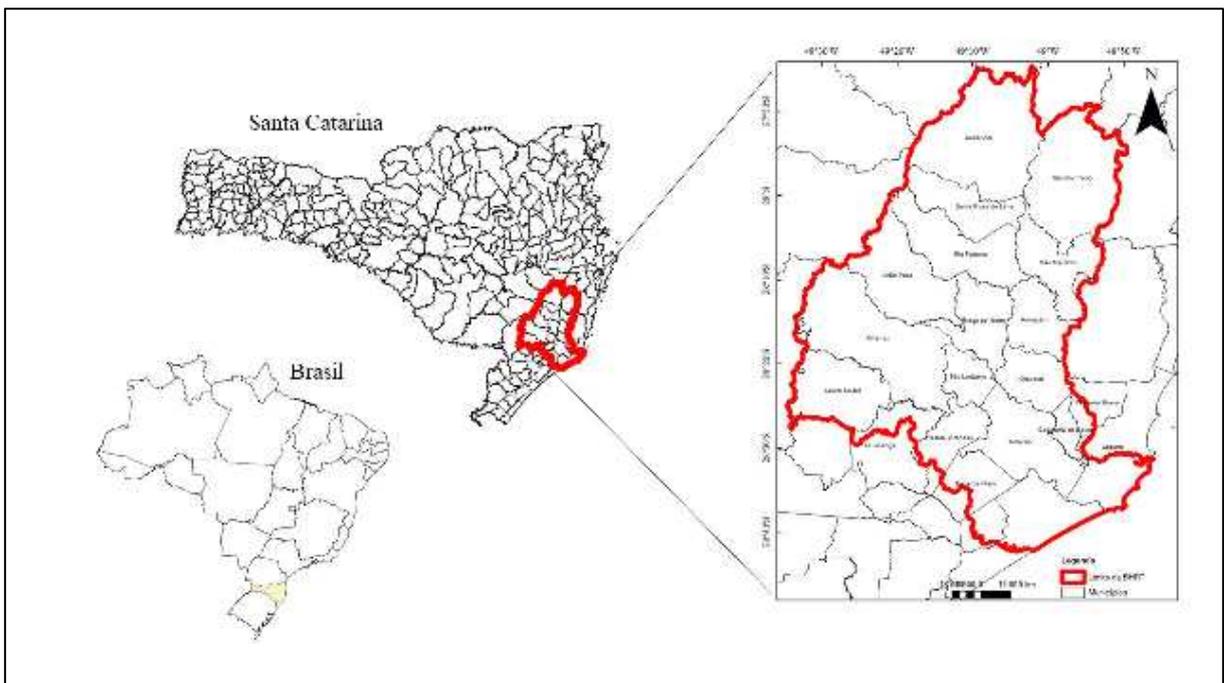
3.1 Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão (BHRT) e Complexo Lagunar está compreendida na Região Hidrográfica do Sul Catarinense (RH9), localizada entre as coordenadas latitudes 27,736° S e 28,698° S e longitudes 48,629° W e 49,568° W. A RH9, possui uma área total de 5.947 km² e um perímetro de 618 km, englobando a área, total ou parcial, de 25 municípios catarinenses (SDS, 2017).

Back (2014) afirma que as características fisiográficas de uma bacia hidrográfica, tais como, tamanho, forma e declividade, exercem grande influência sobre seu comportamento hidrológico, impactando a velocidade e tempo de escoamento superficial da mesma.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina, a BHRT (Figura 2) apresenta uma área de 4.735 km² e um perímetro de 650 km. A Bacia Hidrográfica do Rio Tubarão ocupa a maior parte da RH9 (79,62 % da área total da RH9), abrangendo a área total ou parcial de 22 municípios.

Figura 2. Bacia hidrográfica do rio Tubarão.



Fonte: O autor, 2019.

De acordo com a classificação climática de Köppen, a área de estudo apresenta clima subtropical mesotérmico úmido com verões quentes (Cfa), caracterizado por temperaturas médias maiores que 10°C no mês mais frio e maiores que 22°C no mês mais quente (PANDOLFO et al., 2002).

Com um valor médio de 1.550 mm, a precipitação total anual se distribui de maneira irregular em toda a região, variando entre 1.100 e 1.900 mm. A temperatura média anual do ar é de 18°C, na qual observa-se um gradiente crescente no sentido oeste-leste, com as maiores temperaturas observadas na porção leste (20 °C) e as menores na porção oeste (12 °C). Já o relevo é classificado como fortemente ondulado, com declividades variando entre 20 % e 45 % (SDS, 2017).

Os dados disponibilizados pelo Inventário Florístico e Florestal de Santa Catarina (IFFSC, 2016), mostram que a RH9 possui sua área distribuída em 6 regiões fitoecológicas distintas, sendo elas: Campos de Altitude, Campos com Capões, Florestas Ciliares e Bosque de Pinheiros, Florestas de Faxinais, Floresta Nebular, Floresta Ombrófila Densa e Vegetação Litorânea. A Floresta Ombrófila Densa representa a maior parte da região hidrográfica (81,53 %), seguido pela região Vegetação Litorânea (8,61 %), Floresta de Faxinais (5,52 %) e as Florestas Nebulares (3,06 %).

A BHRT é formada por quatro sub-bacias: sub-bacia do rio Braço do Norte, sub-bacia do rio Capivari, sub-bacia dos formadores do Tubarão e sub-bacia do baixo Tubarão. No contexto energético destacam-se duas sub-bacias, a do rio Braço do Norte e a do rio Capivari. Segundo o Banco de Informações da ANEEL, a BHRT, possui 5 Centrais Geradoras Hidrelétrica (CGH) e 6 Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

3.2 Material

3.2.1 Estações de monitoramento hidrológico

No presente trabalho, que visa avaliar a vazão de referência pela curva de permanência, foram utilizados dados de vazão das estações fluviométricas instaladas na bacia do rio Tubarão. Esses dados são disponibilizados pela Agência Nacional das Águas (ANA), que é responsável pelo monitoramento hidrológico no país. A ANA disponibiliza os dados hidrológicos no sistema HidroWeb (<http://hidroweb.ana.gov.br>). Essas estações em Santa Catarina são

monitoradas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina (EPAGRI).

A primeira etapa do trabalho consistiu no levantamento das estações pluviométricas e fluviométricas existentes na BHRT, que possuíam dados adequados e consistentes de vazão e precipitação. Assim, foi constatado que dentro da bacia existem 24 estações pluviométricas e 18 estações fluviométricas que estão em funcionamento e com séries consistentes de dados (sem grandes falhas e com grandes períodos de medição). Das estações inventariadas foram utilizadas no presente trabalho 16 estações fluviométricas e 10 estações pluviométricas, as quais foram selecionadas por possuírem séries históricas contínuas com mais de 10 anos de dados, como recomenda Cupak (2017) e Molina et al. (2014), para estudos de curva de permanência.

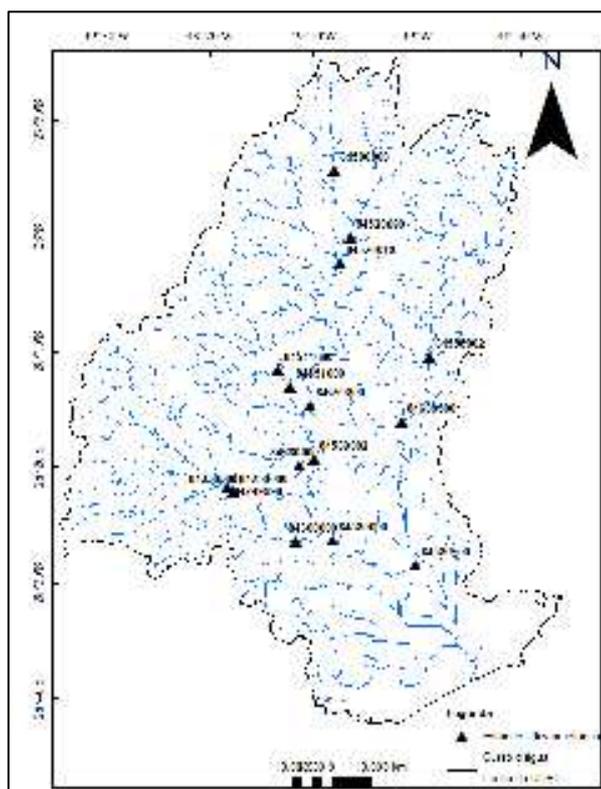
As Tabelas 4 e 5 apresentam as estações fluviométricas e pluviométricas, utilizados no presente trabalho, com a descrição de cada uma delas.

Tabela 4. Descrições das estações fluviométricas analisadas.

Código na ANA	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de Drenagem (km²)	Período de Dados
84598000	São Martinho	S 28° 10' 0.00"	W 48° 58' 0.00"	35	619	01/10/1978 - 01/07/1989
84598002	São Martinho	S 28° 9' 56.16"	W 48° 58' 18.12"	31	620	01/08/1981 - 01/12/2014
84600000	Armazém	S 28° 15' 38.16"	W 49° 0' 52.92"	28	770	01/05/1942 - 01/12/2014
84300000	Pedras Grandes	S 28° 26' 4.92"	W 49° 10' 59.16"	40	822	01/01/1986 - 01/12/2014
84500000	Anitápolis	S 27° 53' 56.04"	W 49° 7' 46.92"	400	139	01/01/1942 - 01/12/1967
84520000	Anitápolis	S 27° 59' 44.16"	W 49° 6' 57.96"	300	380	01/01/1944 - 01/12/2014
84520010	Santa Rosa De Lima	S 28° 1' 59.16"	W 49° 7' 9.12"	234	676	01/05/1986 - 01/12/2014
84541000	Grão Pará	S 28° 11' 20.04"	W 49° 12' 55.08"	90.0	158	01/11/1945 - 01/03/1967
84551000	Grão Pará	S 28° 12' 33.84"	W 49° 11' 42.00"	85	379	01/05/1942 - 01/12/2014
84559800	Braço Do Norte	S 28° 14' 20.04"	W 49° 9' 47.16"	68	1515	01/09/1986- 01/01/2017
84560002	São Ludgero	S 28° 18' 57.96"	W 49° 9' 20.16"	40	1560	01/09/1946 - 01/08/1988
84560000	São Ludgero	S 28° 19' 32.88"	W 49° 10' 45.12"	40	1690	01/05/1939 - 01/12/2014
84250008	Orleans	S 28° 21' 56.16"	W 49° 17' 8.88"	90	606	01/05/1939 - 01/04/1954
84250000	Orleans	S 28° 21' 56.16"	W 49° 17' 8.88"	90	606	01/05/1950 - 01/12/1981
84580000	Tubarão	S 28° 25' 14.16"	W 49° 6' 23.04"	23	2740	01/05/1939 - 01/12/2014
84580500	Tubarão	S 28° 28' 12.00"	W 48° 59' 30.12"	14	2840	01/03/198 - 01/12/2014

Fonte: ANA.

Figura 3. Localização das estações fluviométricas da bacia em estudo.



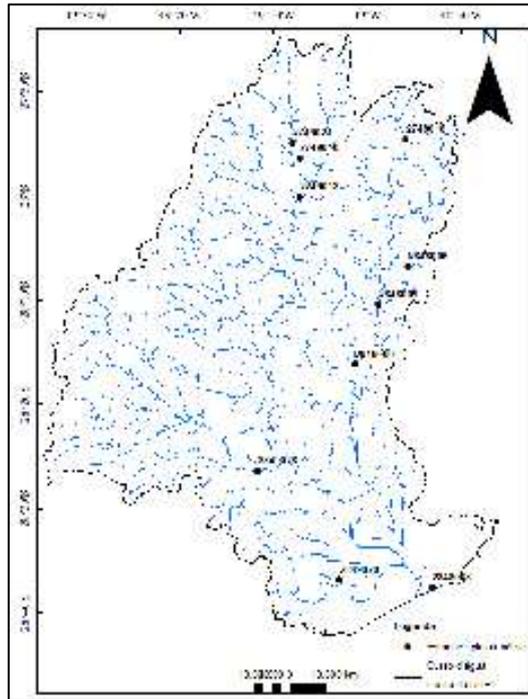
Fonte: O autor, 2019.

Tabela 5. Descrições das estações pluviométricas analisadas.

Código na ANA	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Período de Dados
2848006	São Martinho	S 28° 6' 12.96"	W 48° 55' 9.84"	166	01/03/1976 - 01/10/2018
2848009	São Martinho	S 28° 9' 56.16"	W 48° 58' 15.96"	41	01/12/1986 - 01/10/2018
2848000	Armazém	S 28° 15' 42.12"	W 49° 0' 43.92"	21	01/10/1945 - 01/08/2018
2748018	São Bonifácio	S 27° 54' 2.88"	W 48° 55' 40.08"	425.0	01/03/1976 - 01/10/2018
2849020	Jaguaruna	S 28° 36' 24.12"	W 49° 1' 59.16"	10	01/01/1976 - 01/12/2017
2848008	Jaguaruna	S 28° 37' 0.12"	W 48° 52' 0.12"	12	01/01/1979 - 01/12/1991
2849028	Pedras Grandes	S 28° 26' 3.84"	W 49° 10' 57.00"	40.0	01/01/1986 - 01/12/2017
2749010	Sangão	S 28° 39' 0.00"	W 49° 9' 0.00"	-	01/01/1962 - 01/12/1968
2749012	Anitápolis	S 27° 59' 44.16"	W 49° 6' 56.16"	320	01/01/1945 - 01/12/2017
2749027	Anitápolis	S 27° 54' 34.92"	W 49° 7' 46.92"	419	01/01/1972 - 01/12/2017

Fonte: ANA.

Figura 4. Localização das estações pluviométricas da bacia em estudo.



Fonte: O autor, 2019.

3.2.2 Dados espaciais

Para a regionalização de vazões foram utilizadas as características físicas da bacia do rio Tubarão e sub-bacias: densidade de drenagem (Dd), área da bacia (A), comprimento do rio principal (L) e declividade média (S). Para a determinação dessas características utilizou-se o modelo digital de elevação (MDE), com resolução de 30 metros, obtido do banco de dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), United States Geological Survey (USGS) e da (SDS), obtido no endereço < <https://earthexplorer.usgs.gov/>>.

3.2.3 Softwares

Para obter as características físicas da bacia foi utilizado o software QGIS 2.18.13 com GRASS 7.2.1 - disponível gratuitamente por meio do site em: < <https://www.qgis.org/en/site/>>.

Para a organização dos dados e para a regionalização das vazões foram utilizados os programas SisCAH 1.0. (Sistema Computacional para Análise Hidrológica) e SisCoRv 1.0. (Sistema computacional para regionalização de vazões), respectivamente. Esses softwares são

de acesso livre e foram desenvolvidos pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa, MG (UFV), que disponibiliza no endereço <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>.

3.3 Métodos

3.3.1 Curva de permanência mensal e diária

No presente trabalho, a curva de permanência foi elaborada utilizando as séries históricas de dados de vazões diárias e mensais. Assim, para elaborar o gráfico de curva de permanência foram selecionadas somente as vazões mínimas (Q_{\min}) das séries de dados de cada estação fluviométrica. Essas vazões (Q_{\min}), foram organizadas em ordem decrescente, atribuindo-se um número de ordem (n) para cada uma. Então, foram associadas a cada vazão ordenada (Q_i) a sua frequência (F) de ocorrência ou a probabilidade empírica de ser igualada ou superada, expressa por $P (Q \geq Q_m)$. A probabilidade (P) foi calculada de acordo com a Equação (1).

$$P = \frac{n}{N} \times 100 \quad (1)$$

onde, P é a probabilidade de os valores de vazão ser igualada ou superada (%); n é o número de ordem da classificação; N é o número de dados de vazão observados da série histórica analisada.

A partir dos valores de probabilidade encontrados, foi possível determinar os gráficos das curvas de permanência diária e mensal para a bacia do rio Tubarão e sub-bacias. Esses gráficos relacionam a probabilidade (P) (eixo das abcissas) com que essas vazões podem ser igualadas ou superadas, com os valores de vazão média mínima (eixo das ordenadas). Os valores de N utilizados para a elaboração das curvas de permanência diária e mensal encontram-se na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de N utilizados para o cálculo da curva de permanência.

Estação	N diário	N mensal
84598002	11810	400
84600000	26116	871
84300000	10593	349
84500000	9070	298
84520000	25720	846
84520010	10441	343
84541000	7821	257
84551000	26451	871
84559800	10349	365
84560002	15189	499
84560000	14763	490
84250008	5295	174
84250000	10780	358
84580000	26908	904
84580500	9345	346
84249998	11568	381

Fonte: O autor, 2019.

Desta forma, com base no gráfico de curva de permanência obteve-se a vazão Q98 diária e média mensal para a BHRT. Euclides et al., (2001) destacam que, a curva de permanência mostra a potencialidade natural do rio, onde é possível destacar o tempo de permanência de vazão e suas vazões mínimas.

3.4 Regionalização de Vazão pelo Método Tradicional

Para a regionalização da vazão, foi necessário extrair as características físicas da bacia (área de drenagem, comprimento do rio principal, declividade média do rio, e densidade de drenagem) e de sua precipitação média. Para isso, a BHRT foi dividida em 16 sub bacias, sendo a exutória (seção de saída) de cada uma definida no local onde está instalada a estação fluviométrica da ANA.

A área de drenagem (A), e o comprimento do rio principal (L) foram extraídos por meio do MDE (resolução de 30 m) usando a ferramenta Modelagem Hidrológica disponível no

QGIS 2.18.13. De acordo com Back (2014) a área de drenagem de uma bacia é a área plana entre os divisores de água, expressa em quilômetros quadrados (km²) ou em hectares (ha).

A área (A), o comprimento dos rios (L), a declividade dos rios (S) e a densidade de drenagem (Dd) foram determinadas com base em Villela e Mattos (1975).

O comprimento do rio principal foi determinado pela distância entre a nascente e a foz (exutória) do rio principal.

A declividade do rio (S) é um indicativo da velocidade do escoamento no canal e foi calculada por:

$$S = \frac{\Delta H}{L} \quad (2)$$

onde, S é a declividade do rio (m.m⁻¹), ΔH é a diferença de cota do ponto mais alto ao ponto mais baixo do canal (m) e L é o comprimento do canal (m).

Por fim, a densidade de drenagem (Dd) representa o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, e foi calculada por:

$$D_d = \frac{L_T}{A} \quad (3)$$

onde, D_d é a densidade de drenagem (km. km⁻²), L_T é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A é a área de drenagem da bacia (km²).

Beltrame (1994) sugeriu uma classificação em faixas para a densidade de drenagem, conforme mostra a Tabela 7.

Tabela 7. Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia.

Dd (km/km ²)	Denominação
< 0,50	Baixa
0,50 – 2,00	Mediana
2,01 – 3,50	Alta
> 3,50	Muito Alta

Fonte: Beltrame (1994).

Para a regionalização, foi ainda determinada a precipitação média de cada sub bacia. Para esse cálculo foi utilizado o método de Thiessen, que considera a não uniformidade da distribuição espacial das estações pluviométricas (TUCCI, 2009).

A Equação (4) é a média ponderada das áreas de influência de cada posto com a precipitação dos postos que se encontram na bacia e próximos a ela. O método de Thiessen consiste em unir as estações por trechos retilíneos, onde será traçado linhas perpendiculares aos trechos retilíneos sobre a mediatriz da linha que liga as estações. Então é alongado as linhas perpendiculares até encontrar outra mediatriz, formando assim os polígonos de Thiessen que será correspondente a área de influência de cada estação (MARCIANO et. al, 2017).

$$\bar{p} = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (4)$$

onde, P é a precipitação (mm) na estação 1; A é a área (km²) de influência da estação.

O método utilizado para a regionalização de vazões foi o tradicional, este que utiliza a análise de regressão múltipla para avaliar como as variáveis independentes afetam a variação da variável dependente (SOUSA, 2009).

Com base nas características das bacias hidrográficas foram definidas as regiões hidrologicamente homogêneas utilizando modelos de regionalização, definidos de acordo com o ajuste de diferentes modelos de regressão múltipla. Para a a regionalização de vazões foram utilizadas como variáveis explicativas: correlação (a) comprimento do rio principal, (b) declividade média do rio principal, (c) área de drenagem, (d) densidade de drenagem e (e) precipitação média. Já como variáveis dependentes utilizou-se a vazão de referência Q98 diária e média mensal, determinada pela curva de permanência.

No presente trabalho foram utilizados os modelos de regressão utilizados linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco, conforme as equações (5), (6), (7), (8) e (9) respectivamente dados por:

$$Q = \beta_0 + \beta_1X_1 + \beta_2X_2 + \beta_3X_3 + \dots + \beta_nX_n \quad (5)$$

$$Q = \beta_0X_1^{\beta_1}X_2^{\beta_2}X_3^{\beta_3} \dots X_n^{\beta_n} \quad (6)$$

$$Q = e^{\beta_0X_1^{\beta_1}X_2^{\beta_2}X_3^{\beta_3} \dots X_n^{\beta_n}} \quad (7)$$

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \beta_3 \ln X_3 \dots + \beta_n \ln X_n \quad (8)$$

$$Q = \frac{1}{\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \dots + \beta_n X_n} \quad (9)$$

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

A partir de teste de correlação realizados no software Excel (como mostrado na Tabela 12) foram definidas as variáveis explicativas que contribuíram para a regionalização da vazão das bacias do estudo.

A partir dos dados observados e estimados, verificou-se o ajuste da função matemática, utilizando o coeficiente de determinação (R^2), o qual indica o quanto a variação da função dependente (X), explica a independente (Y) (Naghetini e Pinto 2007).

$$R^2 = \frac{1 - S_x^2}{S_y^2} \quad (10)$$

onde, S_x^2 é a variância amostral de X; S_y^2 é a variância amostral de Y; R^2 é o coeficiente de determinação.

O estudo apresentou resultados estatísticos aceitáveis, os modelos de regressão utilizados podem apresentar uma baixa representatividade física. Observando as vazões estimadas as mesmas apresentam anormalidades, como, por exemplo, vazões negativas, ou superestimam os valores maiores que o dobro das vazões observadas e subestimam valores inferiores à sua metade (PEREIRA, 2012).

Por essa razão, se fez necessário averiguar as diferenças entre os valores das vazões estimadas pelo modelo e as observadas para cada estação. Neste estudo, foi utilizado o erro percentual (ER%) entre os valores das vazões observadas e estimadas, conforme a Equação (11).

$$ER\% = \left(\frac{Q_o - Q_e}{Q_o} \right) \times 100 \quad (11)$$

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

No presente trabalho o ER% foi calculado no software SisCoRV, e foram obtidos valores para cada uma das estações fluviométricas selecionadas. De acordo com a Eletrobras (1985) os erros menores que 30 % são considerados aceitáveis. Valores negativos (-)

representam superestimativa das vazões, entretanto para valores positivos (+) as vazões são subestimadas pelo modelo.

3.5 Potencial de geração de energia elétrica

Para a determinação do potencial hidrelétrico da BHRT foram utilizadas as Equações (14) e (15), na qual primeiramente foi estimado a energia firme, que segundo a Aneel é à máxima produção contínua de energia que pode ser obtida supondo a ocorrência da sequência mais seca registrada no histórico de vazões do rio onde está localizada, essa energia é obtida em MW médios e posteriormente se obteve a potência instalada (MW).

Para a determinação do potencial, e tendo em vista o valor de vazão, estima-se a energia firme em MW médios, onde considera-se a vazão (Q) e a queda líquida (Hliq) constantes durante o funcionamento da usina, Efe (Equação 12) conforme a Eletrobras (2000).

$$EF_e = \frac{\mu \cdot 9,81 \cdot Q \cdot H_{liq}}{1000} \cdot \Delta t \quad (12)$$

onde, EF_e é a energia firma (MW); μ representa o rendimento do conjunto turbina-gerado, sugerindo-se o valor final de 0,85; Q é a vazão mínima medida no local (m^3/s); Hliq é a queda líquida (m) e Δt é o intervalo de tempo igual a 1s.

A queda líquida (Hliq) é definida como a queda bruta diminuindo-se as perdas hidráulicas. Para este cálculo são adotadas perdas de 3 % para casa de força ao “pé” da barragem e 5 % para aduções em túnel/canal Eletrobras (2000).

No estudo, o valor de queda líquida (H_{LIQ}) foi deixado em evidência, onde obteve-se a potência em MW metro de queda. Entretanto, salienta-se que, em trabalhos que estimam a queda líquida real, adota-se um valor de 5 % de perdas relacionadas as aduções em túnel/canal, conforme recomenda Eletrobras (2000). A queda líquida pode ser obtida pela equação (13).

$$H_{LIQ} = H_{BRUTA} - 0,5 * H_{BRUTA} \quad (13)$$

onde a altura de queda bruta (H_{BRUTA}) está relacionada com os níveis d’água a montante e a jusante, ou seja, a queda bruta é a diferença de altura (cotas) entre o nível de água de eixo da turbina e o nível de tomada de água (ELETROBRAS, 2000).

A partir da EFe e com o fator de capacidade da usina (F_c) que é a relação entre a produção de energia elétrica de uma usina e sua capacidade total máximo, o qual segundo a Eletrobras (2000), adota-se o valor de 0,55 e assim, estima-se a potência instalada (MW) por:

$$Pot = \frac{EF_e}{F_c} \quad (14)$$

Foram utilizadas as Equações (12) e (14) fazendo a substituição do valor de μ conforme o sugerido pela Eletrobras 2000. Para a queda líquida (H_{LIQ}) foi determinada por meio da Equação (15). E com a substituição do valor de F_c , obteve-se a Equação (16).

$$EF_e = \frac{0,85.9,81.Q.H_{liq}}{1000} . \Delta t \quad (15)$$

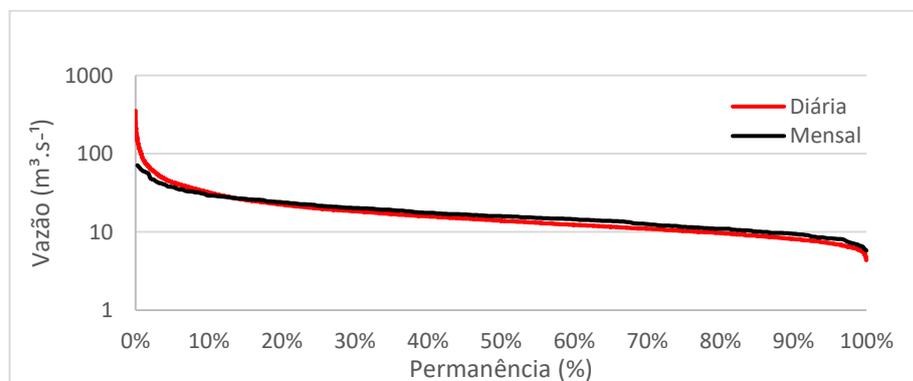
$$Pot = \frac{EF_e}{0,55} \quad (16)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Curva de permanência mensal e diária

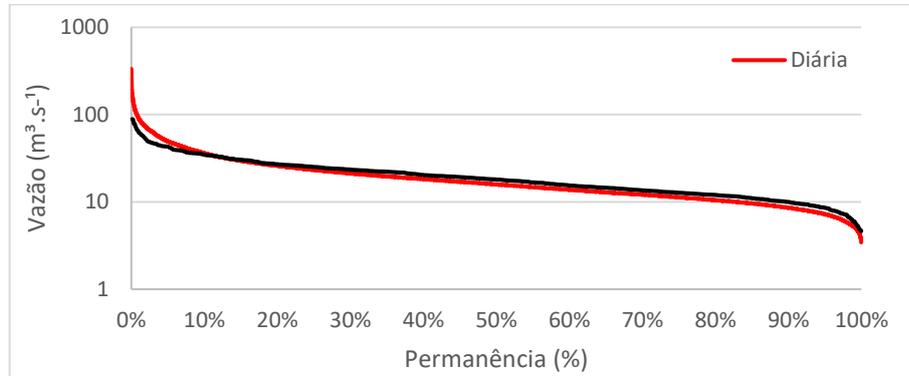
As Figuras 5 a 20 apresentam as curvas de permanência diárias e mensais das vazões observadas nas 16 estações analisadas.

Figura 5. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84598002.



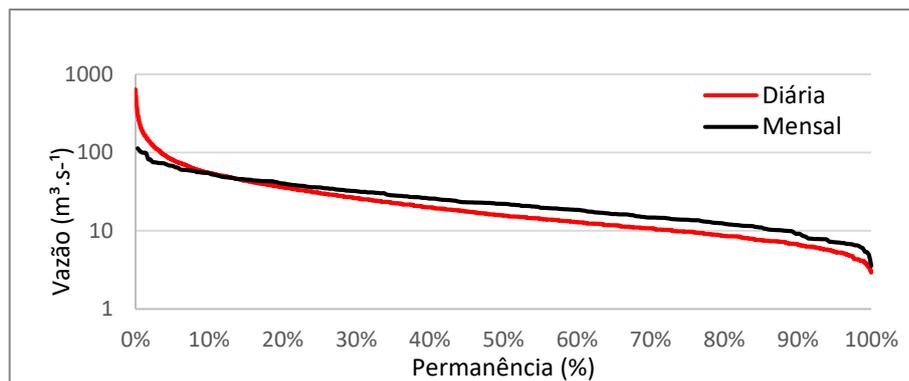
Fonte: O autor, 2019.

Figura 6. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84600000.



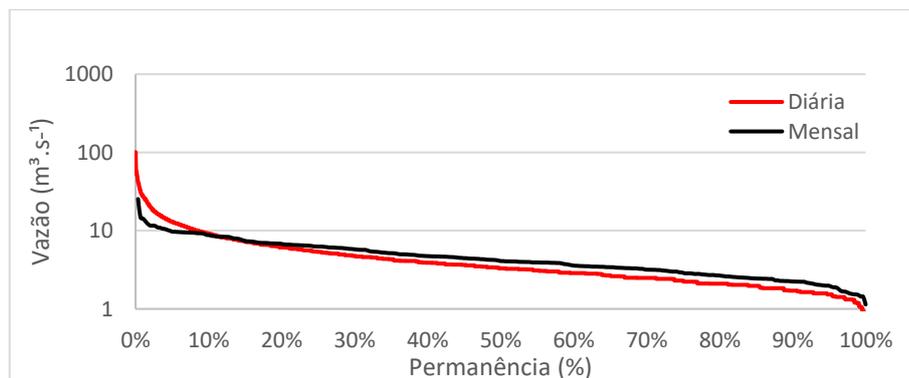
Fonte: O autor, 2019.

Figura 7. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84300000.



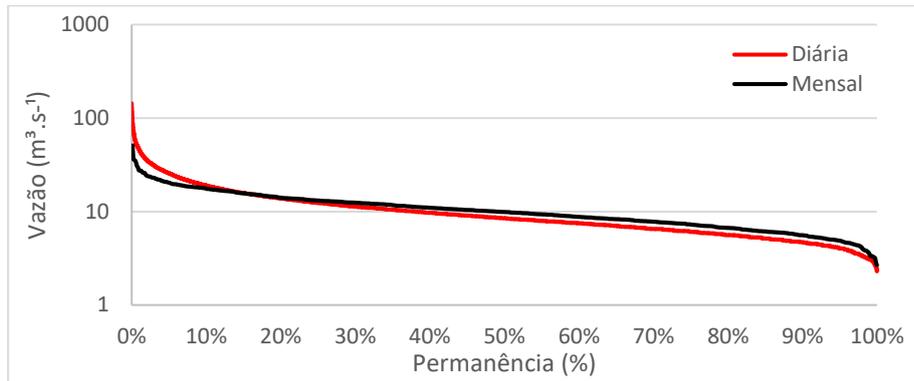
Fonte: O autor, 2019.

Figura 8. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84500000.



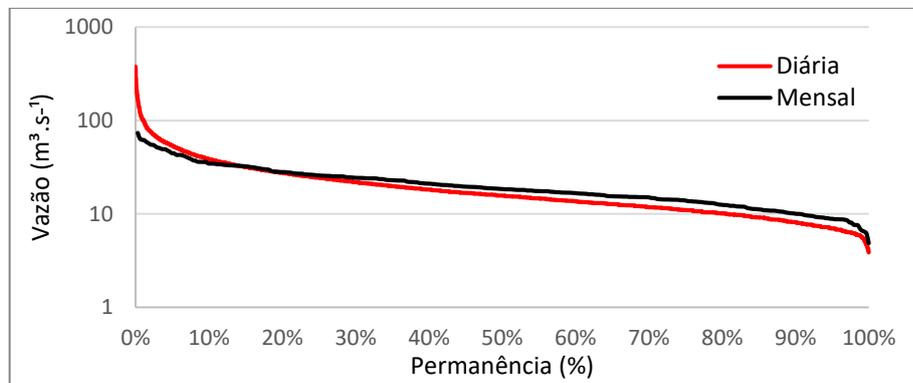
Fonte: O autor, 2019.

Figura 9. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84520000.



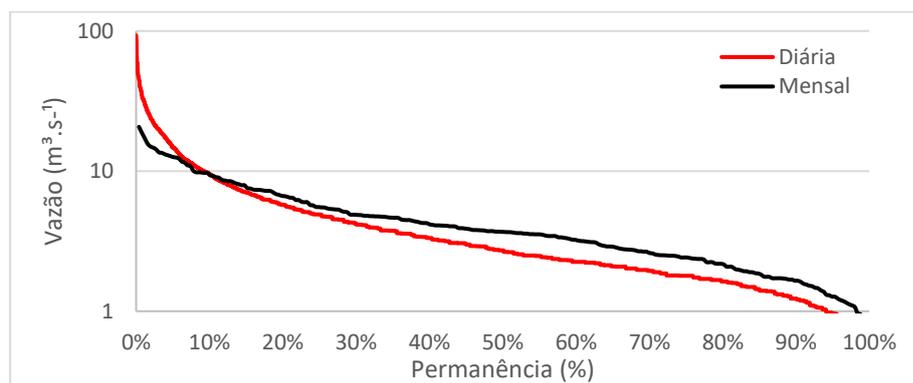
Fonte: O autor, 2019.

Figura 10. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84520010.



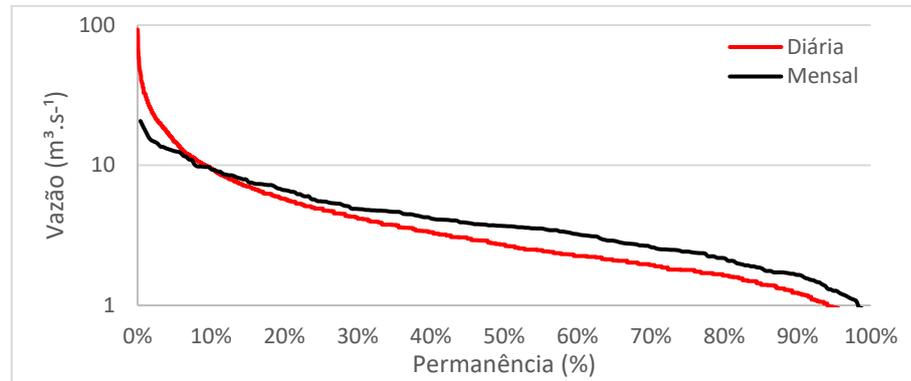
Fonte: O autor, 2019.

Figura 11. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84541000.



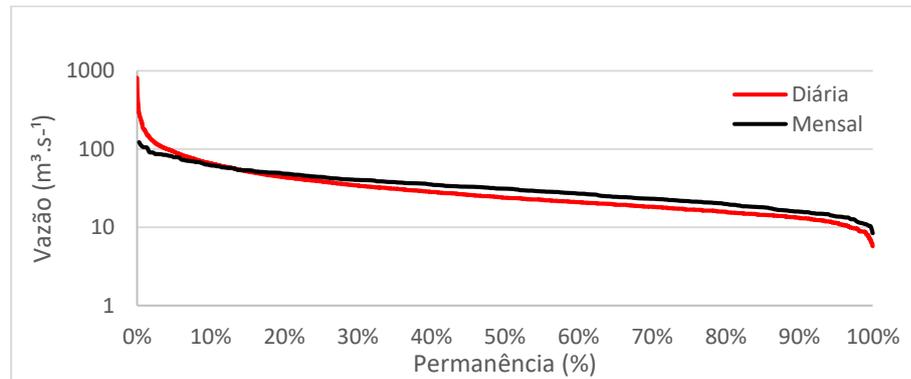
Fonte: O autor, 2019.

Figura 12. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84551000.



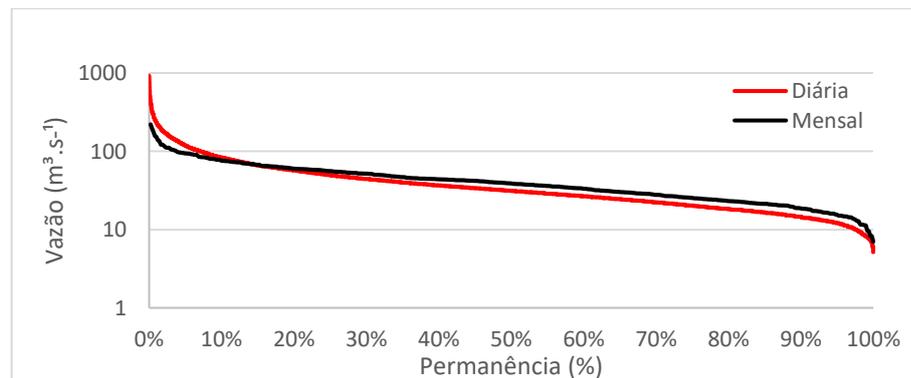
Fonte: O autor, 2019.

Figura 13. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84559800.



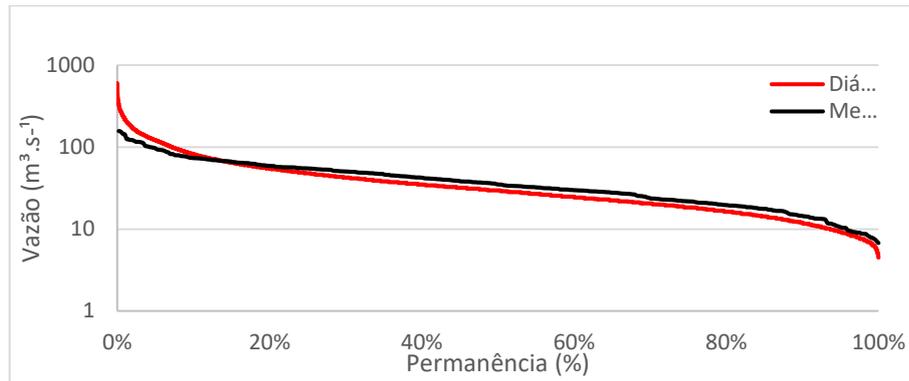
Fonte: O autor, 2019.

Figura 14. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84560002.



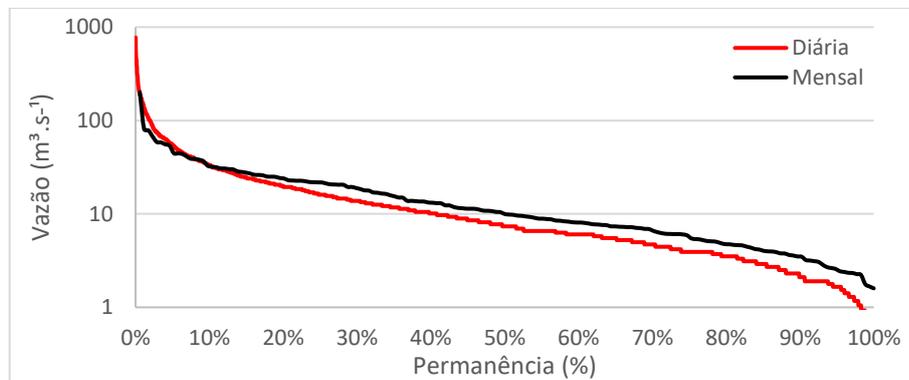
Fonte: O autor, 2019.

Figura 15. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84560000.



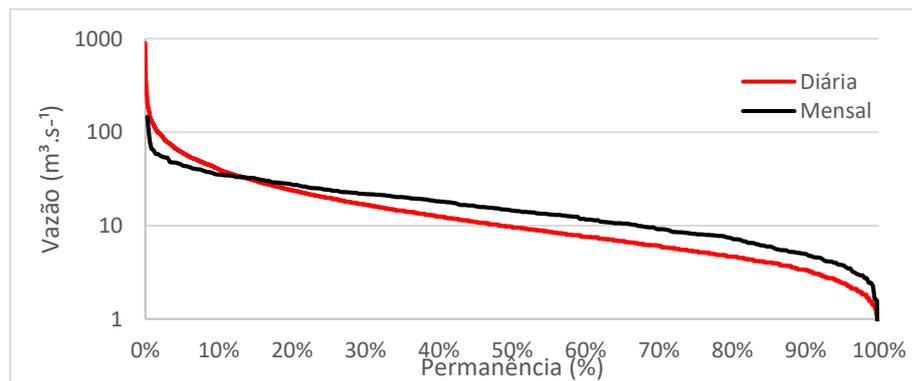
Fonte: O autor, 2019.

Figura 16. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84250008.



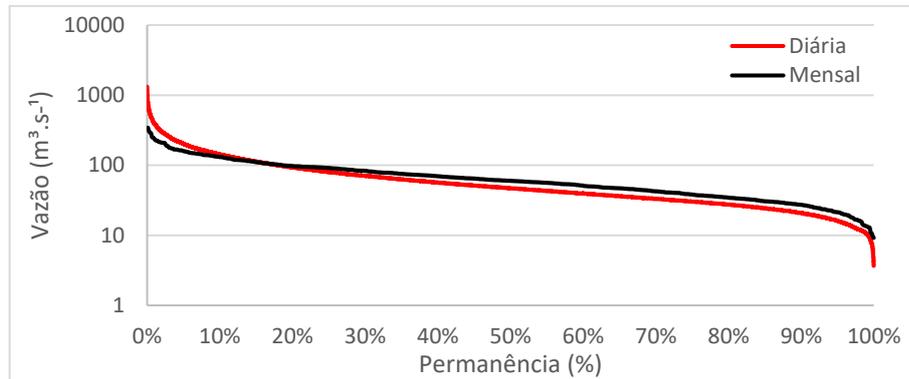
Fonte: O autor, 2019.

Figura 17. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84250000.



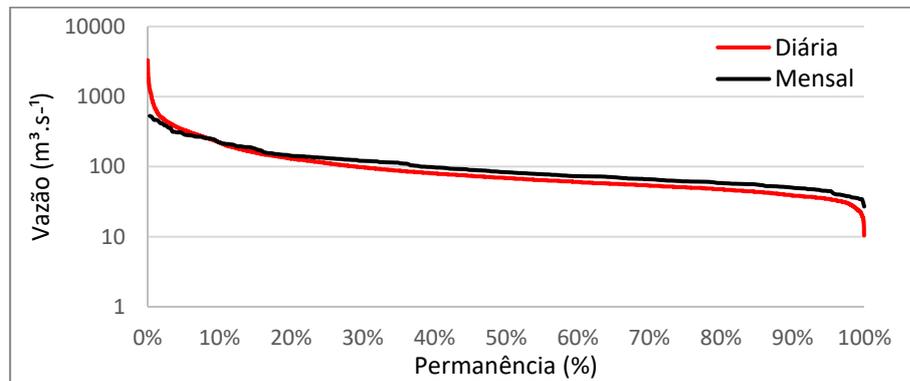
Fonte: O autor, 2019.

Figura 18. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84580000.



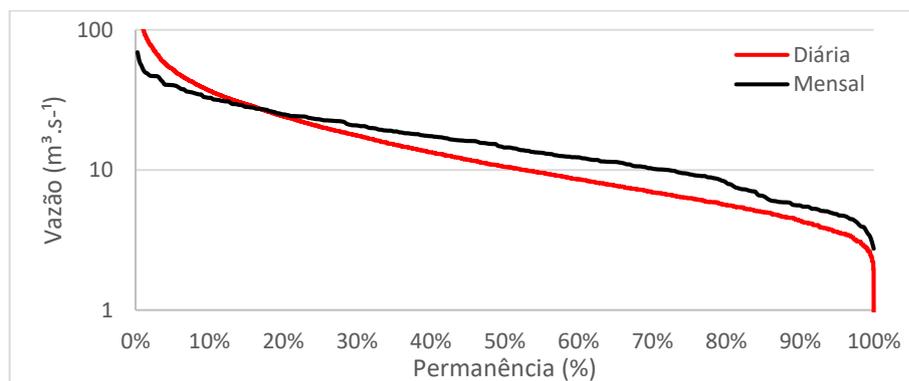
Fonte: O autor, 2019.

Figura 19. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84580500.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 20. Curva de permanência diária e média mensal para a estação 84249998.



Fonte: O autor, 2019.

Analisando os gráficos das Figuras 5 a 20 verifica-se que, a partir de 10 % de permanência, as vazões diárias são menores que as mensais. Back et al. (2019), também verificaram um comportamento semelhante para a bacia do rio Timbó, no norte do estado de

Santa Catarina, porém a vazão mensal foi maior que a diária, para permanências acima de 20 %.

As vazões Q90, Q95 e Q98, são consideradas vazões de referência. Está que é a determinação de um valor de vazão, representa o limite superior de utilização da água em um curso d'água. Essa vazão é uma das principais questões à implementação de um sistema que necessite de outorga (RIBEIRO, 2000; CÂMARA, 2003).

A Tabela 8 apresenta os valores das vazões Q50, Q90, Q95 e Q98 diários e mensais, calculados para as 16 estações fluviométricas presentes na bacia do rio Tubarão.

Tabela 8. Vazões de permanência diária e mensal para a BHRT.

Código da estação	Vazões de Permanência Diária (m ³ .s-1)				Vazões de Permanência Mensal (m ³ .s-1)			
	Q50%	Q90%	Q95%	Q98%	Q50%	Q90%	Q95%	Q98%
84598002	13,91	8,12	7,15	6,36	15,94	9,54	8,31	7,45
84600000	15,87	8,55	7,19	5,81	18,13	10,06	8,67	7,23
84500000	3,30	1,71	1,53	1,32	4,16	2,26	1,98	1,60
84520000	8,49	4,72	4,05	3,32	9,93	5,60	4,94	4,34
84520010	15,69	8,17	7,00	6,20	18,55	10,14	8,87	8,05
84541000	2,72	1,23	0,97	0,73	3,69	1,65	1,30	1,10
84551000	7,41	2,81	2,25	1,42	9,85	4,14	3,14	2,34
84559800	23,82	13,28	11,37	9,37	31,21	15,92	14,11	12,53
84560002	31,40	14,64	12,12	9,48	39,07	18,87	15,96	13,26
84560000	29,70	11,84	9,22	7,58	35,96	14,58	10,85	9,01
84249998	10,50	4,35	3,73	3,08	14,67	5,60	4,85	4,26
84250008	7,35	2,10	1,66	1,05	9,97	3,50	2,28	2,27
84250000	9,60	3,36	2,42	1,83	14,60	4,99	3,81	2,93
84580000	46,80	20,90	16,19	12,09	60,21	27,47	21,59	16,71
84580500	68,36	38,61	34,64	29,22	83,62	50,55	45,26	37,80
84300000	15,65	6,71	5,39	4,33	22,12	9,18	7,24	6,54

Fonte: O autor 2019.

Na Tabela 8 verifica-se que, à medida que aumenta o tempo de permanência (Q98), diminui a diferença entre as vazões diárias e mensais.

Ainda na Tabela 8 é possível observar que os maiores valores de vazões foram obtidos para as estações 84580000 e 84580500, as quais estão localizadas próximo ao exutório da bacia de estudo. As vazões dessas estações são resultantes da soma das vazões contribuintes dos rios afluentes. Também, outro aspecto que contribuí para o aumento dessa vazão é que, quanto mais

distante da nascente o valor de vazão tende aumentar. Já os menores valores de vazões foram constatados nas estações que estão próximas à nascente do rio ou em afluentes do mesmo. Maciel et al. (2019), avaliaram a regionalização e espacialização da Q95 para a bacia do rio Piracicaba, Minas Gerais e também constaram que a vazão aumenta à medida que o ponto monitorado no rio se distancia da nascente deste rio e se aproxima de seu exutório.

Pode-se observar então que a medida que se afasta da nascente aumenta também a área de influencia para a estação, sendo assim observa-se que a área de drenagem é um fator que contribui proporcionalmente com a vazão.

Em Santa Catarina, a vazão de referência para a outorga é a Q98, de acordo com a Portaria da SDS Nº 007 de 03 de novembro de 2009. Quando se trata de geração de energia elétrica, a reserva de disponibilidade hídrica será definida pela série de vazões naturais médias mensais. No entanto, analisando os dados da Tabela 8 é possível constatar que as vazões mensais são superestimadas em relação às diárias, para todas as vazões de permanência (Q95, Q90 e Q98).

Back et al. (2019) também demonstraram que, a curva de permanência mensal tende a superestimar os valores de vazão mínimas. Os autores encontraram uma diferença superior a 20 % para vazões de permanência acima de 50 % e, destacaram a importância desses resultados para projetos de aproveitamento hidrelétrico, que operam a fio d'água ou com reservatórios de pequeno volume, pois essas vazões influenciam diretamente no dimensionamento das obras hidráulicas, superestimando a capacidade do empreendimento. Ainda, destacam que, para bacias de menor área de captação é razoável supor que essas diferenças sejam ainda maiores.

Tendo em vista que a Q98 é utilizada para outorga no estado de Santa Catarina, o presente trabalho calculou o erro relativo (ER%) entre as vazões diárias e mensais conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9. Vazão de permanência Q98 diária e mensal para a BHRT.

Código da Estação	Q98 diária (m ³ .s-1)	Q98 mensal (m ³ .s-1)	Diferença (%)
84598002	6,36	7,45	15%
84600000	5,81	7,23	20%
84500000	1,32	1,60	18%
84520000	3,32	4,34	23%
84520010	6,20	8,05	23%
84541000	0,73	1,10	34%
84551000	1,42	2,34	39%
84559800	9,37	12,53	25%
84560002	9,48	13,26	28%
84560000	7,58	9,01	16%
84249998	3,08	4,26	28%
84250008	1,05	2,27	54%
84250000	1,83	2,93	38%
84580000	12,09	16,71	28%
84580500	29,22	37,80	23%
84300000	4,33	6,54	34%

Fonte: O autor 2019.

Back et. al. (2019) também encontraram diferenças significativas para Q98 em seu estudo da curva de permanência do rio Timbó – SC, constaram uma divergência de 26,8 % entre a Q98 diária e Q98 média mensal e concluíram que é possível remover o excedente para outorga do uso de água.

4.2 Regionalização de vazão

A regionalização de vazão é um conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, onde o objetivo é a estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou informações insuficientes (SILVA et al., 2006).

Para a regionalização de vazão a BHRT foi dividida em 16 sub bacias, cada uma correspondente a uma estação fluviométrica, a área delimitada dessas sub bacias está no Anexo A.

As variáveis da Tabela 10 foram correlacionadas com vazão, a fim de verificar qual delas é mais representativa da vazão Q98 diária e mensal para a regionalização.

Tabela 10. Características físicas para as sub bacias da BHRT.

Código da estação referente a sub bacia	Área (km²)	Comprimento do rio (km)	Declividade do rio (m. m⁻¹)	Densidade de drenagem (km. km⁻²)
84249998	592,2	37,78	0,02353	2,398
84250000	613,36	39,66	0,01482	2,394
84250008	613,36	39,66	0,01482	2,394
84300000	823,79	89,44	0,0061	2,401
84500000	140	23,15	0,02159	2,486
84520000	367,8	34,55	0,01762	2,723
84520010	617,13	36,43	0,02102	3,501
84541000	153,16	26,47	0,02278	2,742
84551000	380,63	30,98	0,01958	3,008
84559800	1495,25	85,57	0,01009	3,400
84560000	1683,49	92,94	0,00945	3,328
84560002	1554,98	8,59	0,00985	3,373
84580000	2731,64	112,31	0,00815	2,988
84580500	2835,31	130,72	0,00703	2,973
84598002	621,1	63,37	0,01186	2,326
84600000	617,13	62,79	0,01227	2,326

Fonte: O autor 2019.

Assim, como correlacionadas as características físicas da bacia com a vazão, também testou-se a precipitação média (determinada por Thiessen) de cada sub bacia. A Tabela 11, apresenta os valores encontrados. A precipitação média anual encontradas para as 16 sub bacias variou de 1351,32 mm e 1908,72 mm. Esses valores são próximos daqueles obtidos por SDS (2017) para o estado de Santa Catarina que foi de 1100 a 1900 mm por ano.

Tabela 11. Precipitação média para as sub bacias da BHRT.

Código da estação referente a sub bacia	Precipitação média (mm. Ano⁻¹)
84249998	1569,36
84250000	1656,48
84250008	1656,48
84300000	1614,96
84500000	1908,72
84520000	1744,44
84520010	1768,92
84541000	1656,48
84551000	1351,32
84559800	1673,76
84560000	1638,24
84560002	1640,88
84580000	1615,56
84580500	1602,72
84598002	1701,72
84600000	1703,64

Fonte: O autor 2019.

A partir dos dados apresentados na Tabela 12, verifica-se que a área foi a variável explicativa que apresentou maior correlação com a Q98, $r = 0,863$ e $r = 0,876$ para as vazões diárias e médias mensais, respectivamente. Tendo em vista esse resultado, a área de drenagem foi utilizada para a regionalização.

Baena et al. (2004) em um estudo de regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul, concluíram que a área de drenagem e comprimento do rio principal foram satisfatórios para a regionalização de vazões máximas, mínimas e média de longo período e da curva de permanência para a bacia. Podendo a área ser utilizada como a única variável explicativa para a estimativa da vazão.

Tabela 12. Coeficiente de correlação das características da BHRT.

	A (km ²)	S (m/m)	L (km)	Dd (km/km ²)	P (mm)	Q98 diária	Q98 mensal
Área (km²)	1,000						
Declividade do rio (m/m)	-0,730	1,000					
Comprimento do rio (km)	0,780	-0,735	1,000				
Densidade de drenagem (km/km²)	-0,353	0,119	-0,263	1,000			
Precipitação média (mm)	-0,209	0,132	-0,159	0,011	1,000		
Q98 diária	0,863	-0,604	0,727	-0,294	-0,099	1,000	
Q98 mensal	0,876	-0,614	0,722	-0,308	-0,122	0,998	1,000

A: área de drenagem; S: declividade do rio; L: comprimento do rio principal; Dd: densidade de drenagem; P: precipitação média.

Fonte: O autor 2019.

No software SisCoRV 1.0, realizou-se o processo de regionalização de vazão. Como dados de entrada no programa, utilizou-se a área e vazões Q98 diária e mensal determinadas para o estudo. Como resultado, foram obtidos os coeficientes dos modelos de regionalização de vazão conforme as Equações (5), (6), (7), (8) e (9). A Tabela 13 mostra os modelos resultante do processo de regionalização do SisCoRV.

Tabela 13. Equação de regionalização de vazão para a BHRT.

	Com a Q98 diária	Com a Q98 mensal
Modelo linear	$Q = -0,65807 + 0,007179A$	$Q = -0,71391 + 0,009492A$
Modelo potencial	$Q = 0,00625.0,98846A$	$Q = 0,010263.0,964304A$
Modelo exponencial	$Q = e^{1,53353A^{0,00099}}$	$Q = e^{2,23358A^{0,000954}}$
Modelo logarítmico	$Q = -32,456 + 5,92909 \ln A$	$Q = -42,5292 + 7,7909 \ln A$
Modelo recíproco	$Q = \frac{1}{-0,65807 + 0,007179A}$	$Q = \frac{1}{-0,71391 + 0,009492A}$

Fonte: O autor 2019.

Ainda, no SisCoRV 1.0 foram analisado o coeficiente de determinação (R^2) para a escolha do modelo para o cálculo da vazão regionalizada. Desta forma, a Tabela 14 mostra os valores de ajustes dos modelos utilizados.

Tabela 14. Coeficiente de determinação (R^2).

Variável	Linear	Potencial	Exponencial	Logarítmico	Recíproco
R^2	0,74524	0,74168	0,68062	0,55902	0,36863
R^2 ajustado	0,72704	0,72323	0,65781	0,52752	0,32353

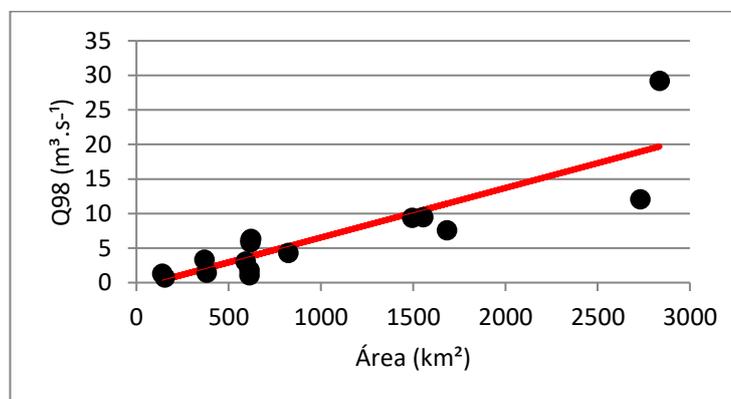
Fonte: O autor 2019.

O modelo escolhido foi o modelo linear, que apresentou um R^2 de 0,74524, isto é, 74,524 % da vazão é explicada pela área. Esse alto valor de R^2 indica uma forte relação linear positiva entre as duas variáveis. Somente 25,476 % da variabilidade é decorrente de outros fatores que não são aqueles considerados no modelo. Para Moriasi et al. (2007) valores de R^2 maiores que 0,5 são considerados aceitáveis.

No software SisCoRV foi observado o coeficiente de determinação para mais de uma variável, e o valor de R^2 diminui quando avaliado com as demais características físicas da bacia.

Foram plotados os valores de vazão com as suas respectivas áreas a fim de se observar o comportamento linear das estações. Na Figura X observa-se que a estação 888888888 apresntou comportamento das demais estações. Assim foi feita a regionalização sem utilizar essa estação e o valor de R^2 aumentou para 0,78. Porém nesse trabalho foram consideradas todas as 16 estações, visto que a estação 9999999 é a estação que se encontra no exutório da bacia em estudo, sendo essa recebendo contribuição de toda a área.

Figura 21. Gráfico das vazões Q98 com a área.



Fonte: O autor, 2019.

Elesbon et al (2015), discorrem que, as equações de regionalização devem apresentar um número reduzido de variáveis independentes de acordo com a sua significância e apresentar altos valores do coeficiente de determinação.

Matias (2018), em estudo de regionalização para a bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande_UPGRH-GD8 concluiu que, os modelos potencial e linear simples apresentaram os melhores ajustes, sendo encontrado um R^2 variando de 0,79 a 0,98, para a Q7,10. Enquanto para as vazões de permanência Q90 e Q95, a potencial destacou-se como a melhor no ajuste das equações de regressão para a bacia de estudo, tendo um R^2 acima de 0,90.

Lopes et. al. (2016), em estudo de regionalização das vazões máximas e mínimas, para a bacia do rio Ivaí- PR, encontraram valores de R^2 de 0,99 para o modelo potencial de e 0,97 para o logarítmico, utilizando as várias de precipitação média anual total e área de drenagem para as vazões máximas. Já para as vazões mínimas, o melhor modelo foi o potencial utilizando somente a variável área de drenagem da bacia, com um R^2 variando de 0,93 a 0,97.

A partir da equação obtida com o modelo linear, comparou-se a vazão regionalizada com a observada nas estações, como mostra a Tabela 18, na qual observou-se que os valores divergiram em média de 10,04 %.

Também, observa-se na Tabela 15 que a maioria das estações instaladas na BHRT superestimam os valores de Q98 para o modelo linear. Destas, a estação 84250008 foi a que apresentou o maior ER% (105%). Já a menor ER% foi obtido na estação 84559800 (12,15 %). Enquanto nas estações 84500000, 84520000, 84541000, 84580500, 84598002 e 84600000 as vazões observadas foram subestimadas, e o ER% foi de -33,36 % e 41,66 % para o modelo linear.

Pereira (2012), em seu estudo regionalização de vazões de permanência para a região hidrográfica do Uruguai, analisou o erro percentual entre a Q90 observada e a Q90 regionalizada e constatou que para as vazões estimadas pelo modelo linear que utilizada apenas a área de drenagem como variável explicativa as vazões apresentaram valores superestimados em torno de 38 % e 77 % e ER% médio de 32 %, o que corrobora com os resultados encontrados no presente trabalho.

Tabela 15. Vazões observadas e regionalizadas diárias para as sub bacias da BHRT.

Código da estação referente a sub bacia	Vazão observada (m³.s⁻¹)	Vazão regionalizada (m³.s⁻¹)	ER%
84249998	3,08	3,59	41,66
84250000	1,83	3,75	17,88
84250008	1,05	3,75	105,45
84300000	4,33	5,26	24,55
84500000	1,32	0,35	35,28
84520000	3,32	1,98	-25,19
84520010	6,2	3,77	-18,24
84541000	0,73	0,44	-28,27
84551000	1,42	2,07	-59,23
84559800	9,37	10,08	12,15
84560000	7,58	11,43	60,78
84560002	9,48	10,51	-13,40
84580000	12,09	18,95	57,66
84580500	29,22	19,70	-33,36
84598002	6,36	3,80	-27,15
84600000	5,81	3,77	41,66

Fonte: O autor 2019.

A Tabela 16, apresenta as vazões observadas médias mensais em comparação com a regionalizada. A maior diferença, assim como na regionalização com valores diários, foi encontrada na estação 84560000, com 75,05 %. A estação 84300000, novamente, apresentou menor diferença com 6,44 %. A média de divergência dos valores para todas as estações foi de 7,18 %.

Tabela 16. Vazões observadas e regionalizadas mensais para as sub bacias da BHRT.

Código da estação referente a sub bacia	Vazão observada (m³.s⁻¹)	Vazão regionalizada (m³.s⁻¹)	ER%
84249998	4,26	4,85	34,32
84250000	2,93	5,05	23,10
84250008	2,27	5,05	58,89
84300000	6,54	7,03	6,44
84500000	1,6	0,60	26,38
84520000	4,34	2,74	-25,42
84520010	8,05	5,09	-20,16
84541000	1,1	0,73	-25,89
84551000	2,43	2,86	-41,32
84559800	12,53	13,34	9,76
84560000	9,01	15,11	75,05
84560002	13,26	13,91	-12,61
84580000	16,71	24,97	50,42
84580500	37,8	25,94	-26,76
84598002	7,45	5,13	-24,54
84600000	7,23	5,09	34,32

Fonte: O autor 2019.

A partir das equações do modelo linear (encontradas na Tabela 13), e com a área da BHTR de 4.735 km², calculou-se a vazão regionalizada diária e média mensal para a área em estudo, obtendo 33,33 m³.s⁻¹ para a vazão diária e 44,23 m³.s⁻¹ para a mensal.

4.3 Potencial de geração de energia

A Tabela 17 mostra o potencial de geração de energia elétrica para BHRT calculado pela Equação (15) e (16), e com as vazões Q98 regionalizadas diária e mensal, 16,665 m³.s⁻¹ e 22,113 m³.s⁻¹, respectivamente.

Tabela 17. Vazão regionalizada para a BHRT.

	Energia firme (MW/m)	Potência instalada (MW/m)
Vazão regionalizada diária	0,139	0,253
Vazão regionalizada média mensal	0,184	0,335

Fonte: O autor 2019.

O potencial de geração calculado com valores de vazão diários divergiu em 25% para aquele calculado com valores de vazão mensal. O que mostra que, quando o potencial é estimado com a vazão mensal, tende a ser maior que com a vazão diária. Isso pode acarretar problemas no dimensionamento do empreendimento hidrelétrico, pois a vazão de permanência mensal trata dos valores médios de vazões e já a diária expressa a vazão natural do rio (TUCCI, 2012).

Segundo et al. (2016), por meio de séries de vazões médias mensais e médias diárias, compararam a estimativa de garantias físicas de 20 PCHs hipotéticas em diferentes regiões do Brasil e obtiveram como resultados, uma redução garantia física calculada com vazões médias diárias, concluindo que a utilização de médias mensais tende a superestimar os resultados.

O estudo de Costa e Santos (2018) de análise do impacto da metodologia de construção da curva de permanência de vazões sobre os benefícios ótimos de uma central hidrelétrica, também verificou uma variação de até 25 % nas potências calculadas com base nas curvas de permanência mensal e diária, onde também foi superestimado no caso do uso das vazões mensais.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho procurou conhecer a magnitude e a permanência da vazão mínima mensal e diária da bacia do rio Tubarão, visando verificar a influência dessas vazões no dimensionamento do potencial hidrelétrico, por meio da curva de permanência regionalizada.

Analisando as curvas de permanência diárias e mensais determinadas com base nas vazões medidas de 16 estações fluviométricas da bacia do rio Tubarão, constatou-se que, a partir de 10% de permanência, as vazões diárias são menores do que as mensais. Isso implica que para estudos de aproveitamento hidrelétrico na bacia é mais adequado utilizar a vazão diária como referência para estudos de outorga.

A regionalização das vazões, com o método tradicional mostrou que, área de drenagem foi a variável que melhor explica a vazão, a qual apresentou um coeficiente de correlação de 0,863 e 0,876 para as vazões diárias e médias mensais, respectivamente. Adicionalmente, o modelo de regressão linear foi o que apresentou o melhor ajuste para as vazões analisadas (R^2 de 0,74524).

Constatou-se que, a vazão mensal superestima a potência hidráulica em 25 %, o que pode influenciar no dimensionamento dos projetos hidrelétricos. Assim, recomenda-se para estudos de aproveitamento hidrelétrico na região da bacia do rio Tubarão avaliar a curva de permanência com dados de vazão diária, em vez de utilizar apenas a vazão mensal.

A bacia do rio Tubarão, devido as suas características hidrogeomorfológicas, apresenta um bom potencial para aproveitamento de energia hidrelétrica, sendo, portanto, fundamental conhecer as vazões mínimas de referência (Q98), uma vez que, essas vazões são utilizadas para a outorga de uso da água para essa atividade.

Para trabalhos futuros, sugere-se utilizar uma análise estatística dos erros obtidos, avaliando as incertezas dos métodos. Adicionalmente, observar se as vazões Q90 e Q95 são mais representativas para o dimensionamentos das usinas hidrelétrica do que a utilizar 50 % da Q98.

REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). Outorga de direito de uso de recursos hídricos. Brasília: SAG, **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**; v.1 vol. 6. 50 p. 2011.

ANA, Agência Nacional de Águas (Brasil). Brasília: SAG, **Cadernos de capacitação em recursos hídricos**; Disponível em:<<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil 3. Ed.** Brasília: ANEEL, 236p, 2008.

BACK, A. J. **Bacias Hidrográficas: classificação e caracterização física (com o programa HidroBacias para cálculos)**. Florianópolis: Epagri, 162 p, 2014.

BACK, A. J., ZAMBRANO, G. J. D., CORSEUIL, C. W. **Curva de Permanência de Vazões do rio Timbó, SC**. 9º Reunião de estudos ambientais. Gramado, RS. Maio, 2019.

BACK, A. J., ZAMBRANO, G. J. D., CORSEUIL, C. W. Curva de Permanência de Vazões do rio Timbó, SC. **Revista Acta Brasiliensis**, v. 3, n. 2, p. 56-62, 2019.

BAENA, L. G. N. **Regionalização de vazões para a bacia do rio Paraíba do Sul, a montante de Volta Redonda, a partir de modelo digital de elevação hidrológicamente consistente**. 135 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2002.

BAENA, L. G. N. et al. Regionalização de vazões com base em modelo digital de elevação para a bacia do rio Paraíba do Sul. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p.612-624, set. 2004.

BAZZO K. R.; GUEDES H. A. S.; CASTRO A. S.; SIQUEIRA T. M.; TEIXEIRAGANDRA C. F. A. Regionalização da vazão Q95: 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.

BELTRAME, A. V. **Diagnóstico do meio ambiente físico de bacias hidrográficas: modelo de aplicação**. Florianópolis: UFSC, 112 p. CARDOSO, C. A.; DIAS, H. C. T.; SOARES, C. P. 1994.

BESKOW, S.; MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; SIMÕES, M. C.; CALDEIRA, T. L.; N., G. S. 2014. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 7, p. 748-754, 2014.

BIGa, Banco de Informação da Geração. **Capacidade de Geração do Brasil 2019**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>>. Acesso em: 23 set. 2019.

BIGb, Banco de Informação da Geração. **Capacidade de Geração no Estado**. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/ResumoEstadual/CapacidadeEstado.cfm>>. Acesso em: 23 set. 2019.

CAMARA, A. C. F. C. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do Rio Gramame (PB)**. Porto Alegre: UFRGS. 219p. Dissertação Mestrado. 2003.

CHAVES, H. M. L. et al. Regionalização de vazões mínimas em bacias através de interpolação em sistemas de informação geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 7, n. 3, p. 43-51, 2002.

COSTA e SANTOS. **Análise do impacto da metodologia de construção da curva de permanência de vazões sobre os benefícios ótimos de uma central hidrelétrica**. XII Conferência de Pequenas Centrais Hidrelétricas – mercado e meio ambiente, São Paulo. 2018.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 111-124, 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.

DIKBAS, F.; MAHMUT, F.; CEM KOC, A.; GUNGOR, M. Defining homogeneous regions for streamflow processes in turkey using a K-means clustering method. **Arabian Journal For Science And Engineering**, [s.l.], v. 38, n. 6, p.1313-1319, 15 fev. 2013.

ELESBON, A. A. A.; SILVA, D. D.; SEDIYAMA, G. C.; GUEDES, H. A. S.; RIBEIRO, C. A. A. S.; RIBEIRO, C. B. M. Multivariate statistical analysis to support the 144 minimum streamflow regionalization. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v.35, n.5, p.838-851, 2015.

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras. **Metodologia para regionalização de vazões**. Rio de Janeiro, v. 1, 202 p. 1985.

ELETROBRAS. **Diretrizes para estudos e projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. - Eletrobras, 2000.

ELETROBRAS. **Manual de microcentrais hidrelétricas**. Grupo Eletrobras e Ministério de Minas e Energia (MMA), 1985.

EPE. **Balço Energético Nacional (BEN)**. Brasília DF. 2018.

EUCLYDES, H. P.; FERREIRA, P. A.; OG ARAO, V. R.; MEDEIROS, D.R. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco à Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 81-105, 2001.

IFFSC, INVENTÁRIO FLORÍSTICO FLORESTAL DE SANTA CATARINA. **Mapa das regiões fitoecológicas de Santa Catarina**. Disponível em:

http://ciram.epagri.sc.gov.br/ciram_arquivos/arquivos/iff/zip/regioes_fitoeologicas_kl ein.zip. Acessado em: 25 fev 2019.

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

LEMOS, A. F. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias**. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

LEVINE, David M. et al. **Estatística Teoria e Aplicação; Utilizando o Microsoft Excel em Português**. 6. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 804 p, 2014.

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, janeiro-março, 2016.

MACIEL, A. L.; VIEIRA, E. M.; MONTE MOR, R. C.; VASQUEZ, A. C. Regionalização e espacialização de vazões de permanência: estudo aplicado na bacia rio Piracicaba-MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.24, n.15, p. 114-133, 2019.

MALEKINEZHAD, H.; NACHTNEBEL, H. P.; KLIK, A. Comparing the index flood and multiple regression methods using L-moments. **Physics and Chemistry of the Earth**. 36, p.54-60. 2011.

MARCIANO, A. G. et al. Cálculo de precipitação média utilizando método de Thiessen e as linhas de cumeada. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**. Itajubá Mg, dez. 2017.

MATIAS, F. J. N. **Regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Baixo Rio Grande_HPGRH-GD8**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós Graduação em Qualidade Ambiental, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Manual de inventário hidrelétrico de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: E-papers, 2007.

Ministério de Minas e Energia (MME). **Plano Nacional de Energia 2030** / Ministério de Minas e Energia; colaboração Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, 2007.

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.

MORIASI, D. N.; ARNOLD J. G.; VAN LIEW M. W.; BINGNER R. L.; HARMEL R. D.; VEITH T. L.. **Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations.** p. 885-900. 2007.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia Estatísticas.** Belo Horizonte: CPRM, 552p. 2007.

NOVAES, L. F. et al. 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.

OLIVEIRA, V. A., **Regionalização de vazões nas regiões das unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais.** 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos, UFLA, Lavras - MG, 2013.

PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de. **Hidrologia aplicada a gestão de pequenas bacias hidrográficas.** Porto Alegre: ABRH, 2016.

PANDEY, G. R.; NGUYEN, V. T. V. A comparative study of regression based methods in regional frequency analysis. **Journal of Hydrology**, V.225.n1, p.92-101. 1999.

PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JÚNIOR, V. P.; MASSIGNAM, A. M.; PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VIEIRA, V. **Atlas Climatológico do Estado de Santa Catarina.** Florianópolis: Epagri, CD-ROM, 2002.

PEREIRA, L. A. **Regionalização de Vazões de Permanência Aplicada na Região Hidrográfica do Uruguai Utilizando o Programa SisCoRV.** 2012. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2012.

PEREIRA, M. A.; KOBAYAMA, M.; CASTRO, N. R. Relação entre a geometria hidráulica e a curva de permanência em estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Ijuí – RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia** v. 15, n 3., 2018.

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

PINTO, J. A. O. **Avaliação de métodos para a Regionalização de curvas de Permanência de vazões para a bacia do Rio das Velhas.** (Dissertação) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos – Universidade Federal de Minas Gerais. 2006.

PORTARIA SDS Nº 36, DE 29 DE JULHO DE 2008. **Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável.** Disponível em: http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=12&idMenu=717&idMenuPai=333. Acesso em: 21 abr. 2019.

PORTARIA SDS Nº 51 DE 02 DE NOVEMBRO DE 2008. **Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável.** Disponível em: http://www.cadastro.aguas.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=12&idMenu=1011&idMenuPai=333. Acesso em: 21 abr. 2019.

RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES, F. A.; SILVA, D. D. Estimativa de regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce. **Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG**, v. 13, n. 2, p. 103-117, 2005.

RIBEIRO, M. M. R. **Alternativas para outorga e a cobrança pelo uso da água: Simulação de um caso.** Porto Alegre: IPH/URGS, 200p. Tese Doutorado. 2000.

RODRIGUEZ, R. G. **Proposta conceitual para a regionalização de vazões.** Tese (Doutorado) em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 2008.

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

SDS, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Recursos Hídricos de Santa Catarina.** 31p. http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/bacias_hidrograficas_sc.pdf . 2018.

SDS, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável. **Plano Estadual De Recursos Hídricos De Santa Catarina - PERH/SC.** Florianópolis. 2017.

SEGUNDO, M. M. M.; CASTRO, E. H.; BRITO, J. R. S.; GOMES, J. **Análise comparativa das estimativas de garantia física de energia em pequenas centrais hidrelétricas com o uso de séries históricas de vazões médias mensais e vazões médias diárias.** CIEI&EXPO 2016.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R.; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.2, p.374–380, 2006.

SILVA, L. M. C.; MONTEIRO, R. A. **Outorga de direito de uso de recursos hídricos: uma das possíveis abordagens.** In: Machado, C. J. S. (Org.). *Gestão de águas doces.* Rio de Janeiro: Interciência. Cap. 5, p.135-178, 2004.

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. PAIVA, J. B. D e PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas.** Porto Alegre, ABRH, 2001.

SILVEIRA, G. L., TUCCI, C. E. M., SILVEIRA, A. L. L. Quantificação de vazão em pequenas bacias sem dados. RBRH: **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.3, n.3, p.111-131, jul/set. 1998.

SIQUEIRA, Leila Aparecida. **Água Fonte de Vida**. 2011. 54 f. Curso de Curso de Especialização em Ensino de Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Medianeira, 2011.

SMAKHTIN, V. U. Low flow hydrology: a review. **Journal of Hydrology**, Amsterdam Vol. 240, p. 147-186, 2001.

SOUSA, H. T. **Sistema computacional para Regionalização de Vazões – SisCoRV 1.0**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programade Pós Graduação em Engenharia Agrícola. Viçosa: UFV, 2009.

SOUZA, R. M. **Estimativas de vazões mínimas na bacia do Altíssimo Rio Negro, Região Sul-Brasileira com aplicação do modelo SWAT**. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SOUZA, R. M.; SANTOS, I. Estimativa da variabilidade espacial de vazões mínimas na bacia hidrográfica do Altíssimo Rio Negro, região sul-brasileira, com aplicação do modelo SWAT. **Ra' Ega**, Curitiba, v. 28, p.134-153, abr. 2013.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. 4.ed. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS/ABRH. 2012.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4.ed. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS/ABRH. 2009.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. 4.ed. Porto Alegre (RS): Editora da UFRGS/ABRH. 2014.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Editora da Universidade/ UFRGS, 2005.

TUCCI, C.E.M. **Regionalização de vazões**. 1, ed. Porto Alegre:UFRGS.256p., 2002.

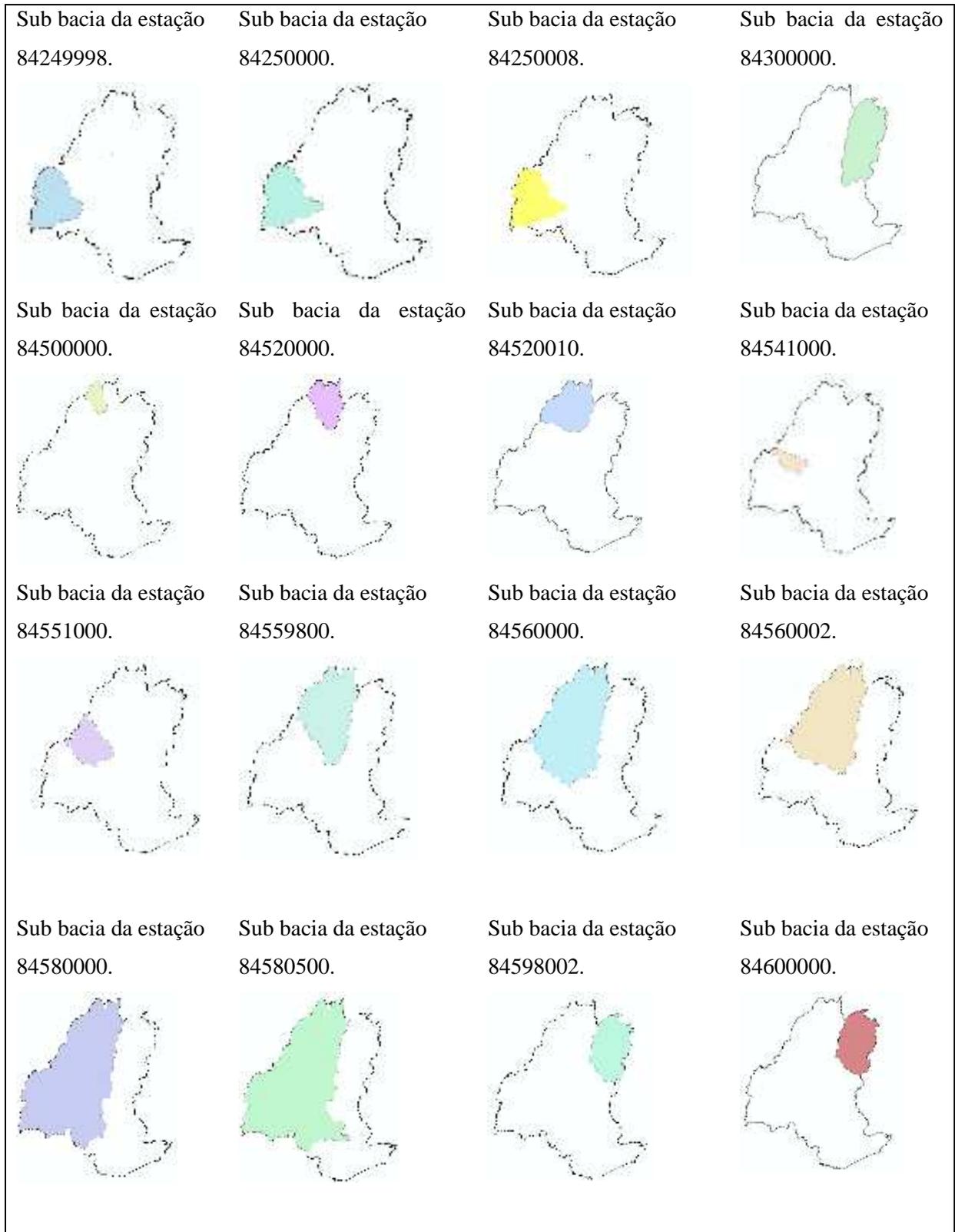
VILLELA, S. M.; MATTOS, A. **Hidrologia Aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VOGEL, R. M.; FENNESSEY, N. M. Flow duration curves. I: new interpretation and confidence intervals. **Journal of Water Resources Planning and Management**, Reston,v. 120, n. 4, p. 485–504, 1994.

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

APÊNDICE A – Sub bacias da BHRT.

Figura 1. Localização das sub bacias da BHRT.



Fonte: O autor, 2019.