

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC**

VITOR DOS SANTOS DA SILVA

**COMPARAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS PARA A ESTAÇÃO PIRABEIRABA NO
RIO CUBATÃO, NORTE DE SANTA CATARINA, E IMPLICAÇÕES NA GESTÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS**

JOINVILLE – SC

2019

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL – DEC

VITOR DOS SANTOS DA SILVA

**COMPARAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS PARA A ESTAÇÃO PIRABEIRABA NO
RIO CUBATÃO, NORTE DE SANTA CATARINA, E IMPLICAÇÕES NA GESTÃO
DOS RECURSOS HÍDRICOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como
requisito parcial para obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil, na Universidade do Estado de
Santa Catarina.

Orientadora: Prof.^a Dra. Virgínia Grace Barros

JOINVILLE –SC
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Vitor dos Santos da Silva

COMPARAÇÃO DAS VAZÕES MÍNIMAS PARA A ESTAÇÃO PIRABEIRABA NO RIO CUBATÃO, NORTE DE SANTA CATARINA, E IMPLICAÇÕES NA GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

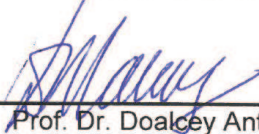
Trabalho de Conclusão de Curso julgado para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em sua versão final pelo Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina. Aprovado em 12 de Junho de 2019.

Banca Examinadora:



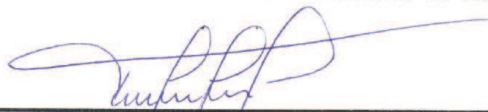
Prof.ª. Dr.ª Virginia Grace Barros

Orientadora Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof. Dr. Doalcey Antunes Ramos

Membro interno Universidade do Estado de Santa Catarina



Prof.ª. Dr.ª Therezinha Maria Novais de Oliveira

Membro externo Universidade da Região de Joinville

Joinville, 12 de Junho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe e minha avó por terem me educado e por terem me dado o apoio durante todo o período da graduação.

Gostaria de agradecer a todos os meus amigos que fiz durante os 6 anos de graduação.

A esta universidade e seu corpo docente que possibilitou o acesso ao ensino público de qualidade e do qual serei grato por toda a minha vida.

Agradeço em especial a Prof.^a Dr.^a Virgínia Grace Barros, pela sua paciência, sua empatia, pelo seu incentivo nas horas mais difíceis, pelos seus conselhos, pela orientação, pela dedicação e por todo o apoio incondicional ao meu trabalho.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

A análise de vazões mínimas é muito importante para a gestão dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, uma vez que são utilizadas para determinar a vazão de referência: um valor fixo decidido pelos comitês de bacia hidrográfica e empregado como critério para determinação da vazão outorgável. Portanto este trabalho comparou diferentes vazões de referências obtidas em uma seção a montante da foz do Rio Cubatão com as vazões de referências oficiais apresentadas no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (SDS, 2017). Utilizou-se uma série histórica de vazões diárias de 30 anos provenientes da estação fluviométrica Pirabeiraba, código 82270050 para estimar a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) e a vazão de permanência (Q_{98}), usadas, respectivamente, como vazão outorgável segundo o Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão e a legislação estadual catarinense com a Portaria nº51/2008 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina. A vazão $Q_{7,10}$ foi estimada com os modelos de probabilidades log-Normal, Gumbel e log-Pearson tipo III seguindo as recomendações da literatura pesquisada às vazões mínimas, já a vazão Q_{98} foi obtida através da curva de permanência de vazões. As distribuições log-Normal e log-Pearson tipo III apresentaram os melhores ajustes através do coeficiente de determinação (R^2), porém a distribuição log-Pearson tipo III obteve o melhor ajuste à amostra através do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados demonstraram haver um decréscimo, quantitativamente, na disponibilidade hídrica do Rio Cubatão em decorrência da metodologia adotada pelo plano estadual.

Palavras chaves: Recursos hídricos. vazão mínima. vazão de referência.

ABSTRACT

The analysis of minimum flows is very important for the management of water resources in a river basin, since they are used to determine the reference flow: a fixed value decided by the river basin committees and used as a criterion to determine the flow rate. Therefore, this work compared different reference flows obtained in a section upstream of the mouth of the Cubatão River with the official reference flows presented in the State Plan of Water Resources of Santa Catarina - PERH / SC (SDS, 2017). A historical series of 30-year daily flows from the Pirabeiraba flow data station, code 82270050 was used to estimate the minimum flow with seven days of duration and return period of ten years (Q7,10) and the flow rate of permanence (Q98), respectively, used as discharge according to the Water Resources Master Plan of the Cubatão River Basin and the legislation of Santa Catarina State with the Administrative Rule no. 51/2008 of the State Secretariat for Sustainable Economic Development of Santa Catarina. The flow rate Q7.10 was estimated with the log-Normal, Gumbel and log-Pearson type III probabilities distributions, following the recommendations of the researched literature at the minimum flows, and the Q98 flow rate was obtained through the flow permanence curve. The log-Normal and log-Pearson type III distributions showed the best adjustments through the coefficient of determination (R^2), but the log-Pearson type III distribution obtained the best fit to the sample through the Kolmogorov-Smirnov adhesion test. The results showed a decrease, quantitatively, in the water availability of the Cubatão River due to the methodology adopted by the state plan.

Keywords: Water resources. flow rate. reference flow rate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo histórico do ciclo hidrológico: modelo reverso.	15
Figura 2 – Modelo histórico do ciclo hidrológico: modelo vertical.	16
Figura 3 - Modelos histórico do ciclo hidrológico: visão moderna	17
Figura 4 - Ciclo da Água.....	17
Figura 5 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica.	22
Figura 6 – Função Densidade de Probabilidade (Gumbel Mínimos).....	42
Figura 7 – Fluxograma da metodologia.....	49
Figura 8 – Mapa político da BHRC.....	51
Figura 9 - <i>Sub-bacias da BHRC</i>	52
Figura 10– Barragem do Rio Cubatão em Pirabeiraba	53
Figura 11 – Curso natural do Rio Cubatão.....	54
Figura 12 – Canal retificado do Rio Cubatão.....	54
Figura 13– Canal retificado do Rio Cubatão	55
Figura 14 – Localização das estações fluviométricas na BHRC	57
Figura 15 – Área de Drenagem a montante da Estação Fluviométrica Pirabeiraba. .	58
Figura 16 – Ajuste dos dados para distribuição e Gumbel	63
Figura 17 – Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição de Gumbel.....	64
Figura 18 – Ajuste dos dados para distribuição Log-Normal.....	65
Figura 19– Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição Log-Normal.....	66
Figura 20 - Ajuste dos dados para distribuição Log Pearson Tipo III	67
Figura 21 - Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição Log-Pearson Tipo III	68
Figura 22 – Curva de permanência de vazões do Rio Cubatão	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação K_7, T em função do Tempo de Retorno	31
Tabela 2 - Relação KP em função da Permanência (%).....	32
Tabela 3 – Estações Fluviométricas da BHRC.....	51
Tabela 4 - Série das vazões mínimas de sete dias (m^3/s) da estação Pirabeiraba ...	62
Tabela 5 - Parâmetros estatísticos das séries das vazões mínimas de sete dias	62
Tabela 6 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba	64
Tabela 7 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba	65
Tabela 8 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba	67
Tabela 9 - Resumo R^2 e Teste Kolmogorov-Smirnov	69
Tabela 10 - Classificação das distribuições para o teste de Kolmogorov-Smirnov ...	70
Tabela 11 - Histórico Disponibilidade Hídrica para BHRC	71
Tabela 12 – Comparação entre as vazões específicas do PERH/SC e as vazões estimadas.....	72
Tabela 13 - Diferença entre as vazões mínimas para a área calculada na foz da BHRC.	72
Tabela 14 - Vazões recalculadas considerando as áreas obtidas neste trabalho e do CCJ para o PERH/SC.	73
Tabela 15 - Vazões Q_{98} , Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$ recalculadas e comparadas com a vazão estimada na foz da BHRC.....	74
Tabela 16 - Comparação entre a Q_{98} , Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$ para a estação Pirabeiraba. .	75

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Justificativa	11
1.2	Objetivo.....	11
1.2.1	Objetivo Geral	11
1.2.2	Objetivos Específicos	11
2	REVISÃO	13
2.1	Hidrologia.....	13
2.2	Ciclo Hidrológico	14
2.3	Escoamento superficial.....	19
2.4	Bacia Hidrográfica	21
2.5	Aquisição de Dados.....	22
2.6	Gestão dos recursos hídricos	24
2.6.1	Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil	27
2.6.2	Lei nº 9433/97	28
2.6.3	Análise Quantitativa dos Recursos Hídricos no Plano Estadual de Recursos Hídricos de 2017 – PERH/SC	29
2.7	Vazões mínimas	32
2.7.1	Análise estatística de eventos extremos	32
2.7.2	Vazão mínima estatística	34
2.8	HIDROLOGIA ESTATÍSTICA	35
2.8.1	Estatística básica	36
2.8.2	Análise de Frequências	38
2.8.3	Média Móvel	39
2.8.4	Distribuição Assintótica dos Extremos do tipo I para série de mínimos ou Distribuição de Gumbel	40
2.8.5	Distribuição Log-Pearson Tipo III	42

2.8.6	Distribuição Log-Normal	44
2.8.7	Teste de Aderência	45
2.8.8	Teste de Kolmogorov-Smirnov.....	46
2.9	PROGRAMAS COMPUTACIONAIS	47
2.9.1	<i>EasyFit</i>	47
2.9.2	Sistema de Informação Geográfica e QGIS.....	47
3	METODOLOGIA	49
3.1	Área de estudo	50
3.2	Coleta e Organização dos Dados	56
3.3	Cálculo da vazão mínima $Q_{7,10}$	58
3.4	Vazão de permanência (Q_{98})	60
3.5	Teste de Kolmogorov-Smirnov	61
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	62
4.1	DETERMINAÇÃO DA VAZÃO $Q_{7,10}$	62
4.1.1	Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição de Gumbel Mínimos	63
4.1.2	Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição Log-Normal	65
4.1.3	Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição Log Pearson Tipo III.....	67
4.1.4	Determinação da vazão Q_{98} pela curva de permanência.....	69
4.2	COMPARAÇÃO ENTRE AS VAZÕES.....	70
5	CONCLUSÃO	77
	REFERÊNCIAS	80
	APÊNDICE A – Vazões diárias da Estação Pirabeiraba	85
	APÊNDICE B – Calculo das vazões pela distribuição de Gumbel	94
	APÊNDICE C – Calculo das vazões pela distribuição Log-Normal	95
	APÊNDICE D – Calculo das vazões pela distribuição Lo-Pearson tipo III	96
	APÊNDICE E – Valores Críticos para o teste de Kolmogorov-Smirnov	97
	APÊNDICE F – Fator de Frequência para distribuição Log-Pearson tipo III	98

1 INTRODUÇÃO

A elaboração de um plano de recursos hídricos de uma bacia hidrográfica compõe uma rede de estudos que reúnem as mais diversas áreas da ciência (LANNA, 2014).

Cabe ao estado brasileiro salvaguardar os recursos hídricos presentes em seu território e decidir com a participação da sociedade nas questões envolvidas. A intervenção do estado sobre as disputas correntes acerca do uso da água pelos mais variados setores, torna-se assim, necessária (LANNA, 2014). Nesse sentido, em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada, a Lei nº 9433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, também conhecida como Lei das Águas (BRASIL, 1997).

Dentre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, Art. 5º da lei, destaca-se o inciso III que estabelece a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos (BRASIL, 1997). De acordo com a Lei Estadual de Santa Catarina nº 9.748/94 este instrumento é necessário a qualquer usuário que pretenda fazer uso dos recursos hídricos e que altere as condições quantitativas ou qualitativas das águas superficiais (SANTA CATARINA, 1994).

Isto posto, as observações quanto à disponibilidade hídrica de qualquer rio, faz-se elementar para concessão de outorga de uso da água pelo órgão gestor dos recursos hídricos, já que ela requer o estudo das vazões mínimas ou regularizadas (VESTENA *et al.*, 2012).

A pesquisa descrita neste trabalho de conclusão de curso procura determinar e comparar a vazão média mínima de referência para o Rio Cubatão, no município de Joinville, segundo o Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão e a Portaria 36/2008, de 29 de julho de 2008 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2008) que estabelecem respectivamente os métodos $Q_{7,10}$ e Q_{98} como vazões de referência e compará-las com a vazões contidas no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (SDS, 2017)

1.1 JUSTIFICATIVA

A etapa de estudos sobre o regime de vazões dos cursos de água envolve uma série de outras atividades como a coleta de dados, análise estatística dos dados e tomadas de decisões que tenham por objetivo maximizar a disponibilidade hídrica. Essas atividades também fazem parte da engenharia de recursos hídricos (RIGHETTO, 1998).

Os fenômenos hidrológicos mais impactantes para a sociedade e conseqüentemente para a gestão dos recursos hídricos são as cheias e as secas (HIPÓLITO; VAZ, 2013). Sendo assim, os autores afirmam que a descrição hidrológica dos fenômenos é indispensável às populações, autoridades, sociedade civil e entidades, já que permitem a preparação de medidas que amenizem os enormes impactos negativos destes fenômenos.

Neste sentido, a análise de vazões médias mínimas insere-se na problemática das secas, fenômeno maior junto às causas de mortes e prejuízos econômicos, ambientais e sociais (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

Posto isto, a determinação das vazões $Q_{7,10}$ e Q_{98} para o Rio Cubatão, localizado no município de Joinville - SC, é imperativo à gestão dos recursos hídricos dentro do contexto da demanda de água pela cidade e sua intrínseca relação com o respectivo curso de água.

1.2 OBJETIVO

1.2.1 Objetivo Geral

Comparar diferentes vazões de referência para uma seção do Rio Cubatão no município de Joinville.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Extrair dados de uma série histórica de vazões de uma estação fluviométrica situada no Rio Cubatão;

- b) analisar e identificar incoerências na série de dados históricos da uma estação fluviométrica situada no Rio Cubatão;
- c) determinar a vazão de referência $Q_{7,10}$ (vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos) para uma seção do Rio Cubatão;
- d) determinar a vazão de referência Q_{98} (vazão mínima da curva de permanência para 98 por cento do período analisado) para uma seção do Rio Cubatão;
- e) comparar as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{98} para uma seção do Rio Cubatão com as vazões no Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina - PERH/SC de 2017.

2 REVISÃO

2.1 HIDROLOGIA

No sentido de indicar a importância e a presença de projetos hidráulicos ao longo da história, os autores Linsley, Kohler e Paulhus (1975, tradução nossa) narram a presença desses projetos desde os tempos da pré-história, em que segundo os autores supõem, teriam sido construídos pilhas de rochas através dos rios, pelos homens pré-históricos, a fim de aumentar o nível de água e encharcar as terras que continha plantas selvagens, durante o período de seca. A existência de projetos hidráulicos construídos há muito tempo são indicadores, para os autores, que os construtores entendiam um pouco de hidrologia.

A respeito do contexto da Hidrologia na nossa sociedade e definindo-a como a ciência responsável pelo estudo do ciclo da água no planeta Terra, afirma Vasconcelos (2017, p.28, tradução nossa) que “a necessidade humana por água para consumo próprio e produção tem sido uma das principais estímulos para o estudo dos recursos hídricos desde o início da civilização”. Apenas no século XVII a Hidrologia ganhou reconhecimento como o primeiro campo acadêmico específico a estudar os processos da água no ambiente natural, segundo Jones *et al.* (1963 *apud* VASCONCELOS, 2017, tradução nossa), após séculos de estudos realizados por naturalistas que desenvolveram práticas e conhecimentos empíricos acerca das necessidades da água.

Linsley, Kohler e Paulhus (1975, tradução nossa) mencionam o arquiteto romano Marcus Vitruvius Pollio (ano 100 a.C.) como sendo o primeiro a reconhecer o papel da precipitação tal como aceita-se hoje. Leonardo da Vinci foi, após Vitruvius, o cientista a sugerir a visão moderna que tem-se sobre o ciclo hidrológico. No entanto, o autor atribui a realização original de uma análise quantitativa sobre uma das partes do ciclo hidrológico ao cientista francês Pierre Perraut (1608-1680), que demonstrou ser o fluxo do rio Sena cerca de um sexto da precipitação ao comparar as medidas de chuva com as estimativas de vazões do mesmo rio. Sabe-se também que o astrônomo inglês Halley (1656-1742) através dos dados de medição da evaporação de uma pequena panela, obteve uma estimativa da evaporação do Mar Mediterrâneo (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, tradução nossa).

De acordo com Pinto (2007) a Hidrologia toma corpo como ciência somente após a elucidação de princípios de ordem quantitativa no final do séc. XIX após um longo período de progresso como os demais ramos da ciência. O indício para a evolução da Hidrologia segundo Pinto (2007) seria o maior entendimento acerca do ciclo hidrológico na Renascença com Da Vinci e outros cientistas. O autor também afirma que a ciência que estuda o ciclo hidrológico é recente, apesar de registros conhecidos sobre estudos de medidas acerca da água no Egito e na Índia antigos.

Nos primeiros anos do século XX, pesquisadores como Horton, Mead e Sherman aprimoraram e definiram conceitos da hidrologia ao explorar mais essa ciência. O impulso da Hidrologia se dá na década de 30 do séc. XX devido a ações de expansão relacionadas ao controle de enchentes, irrigação, conservação do solo dentre outras atividades que só seriam factíveis com o aumento de pesquisas hidrológicas e a presença organizada de dados (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, tradução nossa).

A Hidrologia como ciência única a estudar o ciclo da água na Terra, torna-se insuficiente já que ela circula através da atmosfera da Terra, biosfera, solos e rochas. Necessita-se, nesse sentido, analisar o ciclo da água através de outras ciências como geologia, climatologia, meteorologia, geomorfologia, agronomia e biologia conforme Jones *et al.* (1963 *apud* VASCONCELOS, 2016).

Na Engenharia Civil, o estudo da Hidrologia está atrelado, conforme Garcez e Alvarez (2004), à Engenharia Hidráulica que utiliza a água como fundamento para construção e operação de estruturas destinadas à gestão dos recursos hídricos. Os autores apontam também diversas aplicações da Hidrologia: drenagem e recuperação de áreas, irrigação, estudos evaporimétricos e de infiltração de água no solo, regularização dos cursos de água e controle de inundações, controle da poluição, aproveitamento hidrelétrico, navegação e enfim a estimativa dos recursos hídricos de uma região, temática abordada nesta pesquisa.

2.2 CICLO HIDROLÓGICO

Uma das maneiras mais convenientes para iniciar o estudo da hidrologia é entender o conceito do ciclo hidrológico que é em si, uma concepção grosseira a respeito do escopo que a hidrologia possibilita para entender as porções de água envolvidas nas precipitações no solo e o retorno da água para a atmosfera e o oceano,

visto que a maneira em que o ciclo hidrológico é esquematizado por ilustrações, não constitui um significado fidedigno ao que é observado na natureza (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, tradução nossa). Conforme Pinto (2007, p.3) o fenômeno do ciclo da água na terra caracteriza-se por sua extrema complexidade:

A “história” de cada gotícula de água pode variar consideravelmente, de acordo com as condições particulares com que se defronte em seu movimento. Em seu conjunto, entretanto, a contínua circulação que se processa às custas da energia solar mantém o balanço entre o volume de água na terra e a umidade atmosférica.

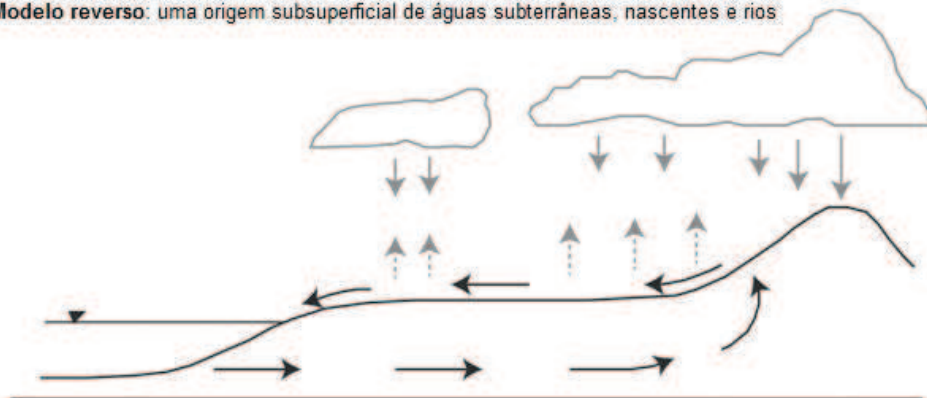
Nesta perspectiva quanto à aleatoriedade entre as fases do ciclo hidrológico, afirmam os pesquisadores:

Se a discussão do ciclo hidrológico dá qualquer impressão de um mecanismo contínuo através do qual a água se move continuamente em uma taxa constante, essa impressão deveria ser dissipada. O movimento da água através das várias fases do ciclo é irregular. Em outras vezes, parece que o mecanismo do ciclo para completamente e com isso, a precipitação e o escoamento (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, p.2, tradução nossa).

De acordo com Tuan e Dooge (2001 *apud* DUFFY, 2017, tradução nossa), os modelos históricos do ciclo hidrológico em termos de balanço hídrico – Figura 1 - foram representados de maneira diferentes através do tempo, desde a visão dos antigos filósofos Gregos até a era moderna. Primeiro havia a visão mais antiga chamada de modelo reverso, em que as nascentes e os rios eram formados estritamente por uma conexão subterrânea com o mar e que a precipitação não era suficiente para explicar a origem das nascentes e rios; neste modelo o balanço hídrico entre a troca vertical de precipitação e evaporação era separado do balanço hídrico da subsuperfície.

Figura 1 – Modelo histórico do ciclo hidrológico: modelo reverso.

Modelo reverso: uma origem subsuperficial de águas subterrâneas, nascentes e rios

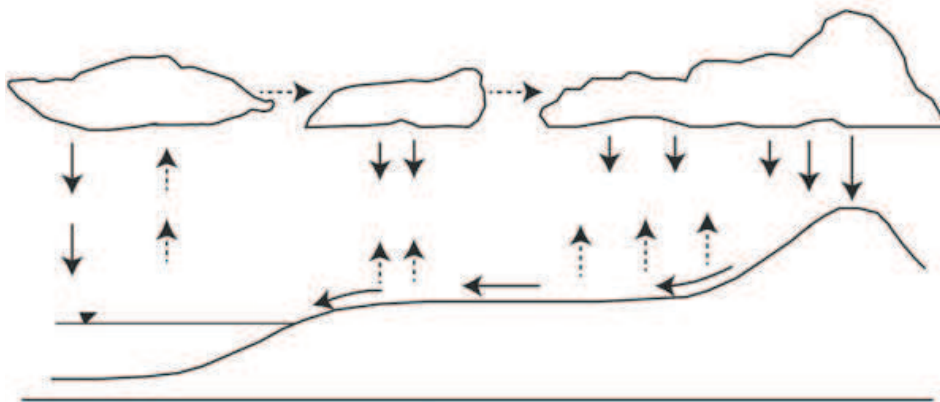


Fonte: Adaptado de Duffy (2017, tradução nossa).

Em segundo, de acordo com Tuan e Dooge (2001 *apud* DUFFY, 2017, tradução nossa) havia o modelo vertical – Figura 2 – que refuta a origem das nascentes e rios tendo como fonte a ligação com o mar, porém apresenta a precipitação e o vapor de água atmosférico como responsáveis para suprir a necessidade de água das plantas e seres vivos e por fornecer um excesso suficiente para explicar as nascentes e os rios.

Figura 2 – Modelo histórico do ciclo hidrológico: modelo vertical.

Modelo vertical: precipitação e orvalho como origem de nascentes e rios

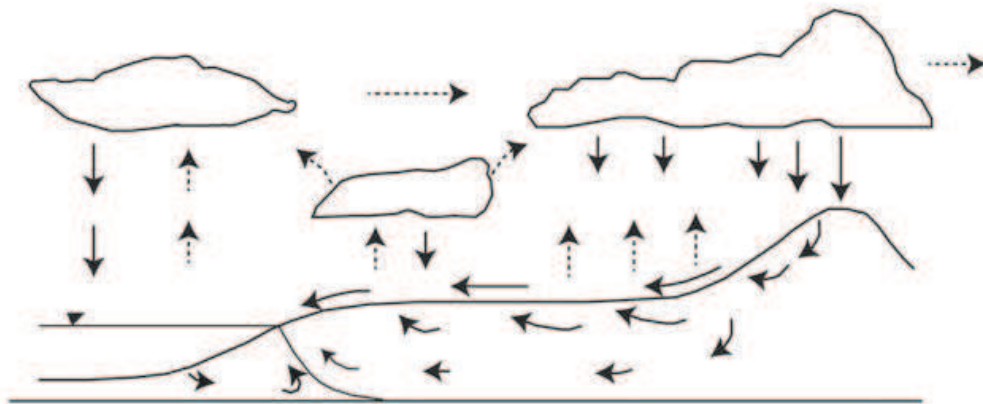


Fonte: Adaptado de Duffy (2017, tradução nossa).

O terceiro e último modelo – Figura 3 - chamado de visão moderna ilustra o entendimento do ciclo hidrológico nos dias de hoje em que, de acordo com Tuan e Dooge (2001 *apud* DUFFY, 2017, tradução nossa), as águas subterrâneas e a vegetação são componentes integrais do ciclo hidrológico terrestre.

De modo geral o ciclo hidrológico é delineado nas ilustrações ou textualmente em conformidade com as duas fases principais do ciclo: a fase atmosférica e a terrestre nas quais se subdividem em outras três fases que tratam dos processos de armazenamento da água, transporte e mudança de estado (GARCEZ; ALVAREZ, 2004).

Figura 3 - Modelos histórico do ciclo hidrológico: visão moderna
Visão Moderna



Fonte: Adaptado de Duffy (2017, tradução nossa).

A Figura 4 demonstra a ilustração comum do ciclo da água nos dias de hoje de acordo com o Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2016).

Figura 4 - Ciclo da Água



Fonte: USGS (2016)

Portanto, é possível conceber o ciclo hidrológico desta maneira simplificada conforme os autores Linsley, Kohler e Paulhus (1975, p.2, tradução nossa) propuseram,

[...] iniciando com a evaporação da água dos oceanos. O vapor resultante é transportado pelo movimento das massas de ar. Sob as condições adequadas, o vapor é condensado para formar nuvens que, por sua vez, podem resultar em precipitação. A precipitação que cai em cima da terra é dispersada em várias maneiras. A maior parte é temporariamente retida próximo ao solo onde ocorreu a queda e é, por fim, devolvida para a atmosfera pela evaporação e transpiração das plantas. Uma porção da água encontra seu caminho na superfície do solo e escoam nos canais, enquanto outra parte penetra mais adiante para dentro do chão e se torna parte do abastecimento de água subterrânea da terra. Sob a influência da gravidade, ambos os escoamentos superficiais e subterrâneos se deslocam em direção às baixas elevações e podem, eventualmente, descarregar no oceano. Entretanto, quantidades substanciais de água superficial e subterrânea são devolvidas para a atmosfera pela evaporação e transpiração antes de chegar no oceano.

Segundo Silveira (2014) o ciclo hidrológico é um fenômeno que acontece a nível global de forma fechada, uma vez que os volumes de água sujeitos a um dos fenômenos hidrológicos não são necessariamente devolvidos à mesma localização geográfica onde ocorreu, devido às dinâmicas envolvidas na atmosfera e também na superfície terrestre. Já a nível aberto, estaria relacionada a uma observação mais restrita numa área com menor rede de drenagem, caracterizando o ciclo como a nível local.

O impulso para a realização do ciclo é dado pela força gravitacional e à rotação terrestre combinada à energia solar (SILVEIRA, 2014).

A orientação do ciclo hidrológico é dada de duas formas que o mesmo autor considera como sendo o “intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera, fechando o ciclo hidrológico”. O sentido superfície-atmosfera e atmosfera-superfície dá-se conforme o estado físico da água, fenômeno hidrológico (evaporação, precipitação, etc.) e fenômeno biológico (transpiração).

O ciclo hidrológico tem como objetivo enfatizar as quatro principais fases do ciclo hidrológico formadas pelas precipitações atmosférica, escoamentos subterrâneos, escoamentos superficiais, evaporação e transpiração (GARCEZ; ALVAREZ, 2004).

2.3 ESCOAMENTO SUPERFICIAL

Um dos mais importantes segmentos do ciclo hidrológico, do ponto de vista para projetos de Engenharia Hidráulica, chama-se escoamento superficial. Esta subdivisão do ciclo hidrológico na parte terrestre faz considerações em relação ao escoamento da água por gravidade na superfície terrestre (GARCEZ; ALVARES, 2004).

Para Martins (2007) o escoamento superficial estuda desde “a menor porção de chuva que, caindo sobre um solo saturado de umidade ou impermeável, escoam pela superfície, formando sucessivamente as enxurradas ou torrentes, córregos, ribeirões, rios e lagos ou reservatórios de acumulação”.

O escoamento superficial é uma etapa do ciclo hidrológico que está “intimamente ligado às precipitações atmosféricas” (GARCEZ; ALVAREZ, 2004, p.211).

A parcela da água do volume total de precipitação que intercepta folhas e caules, o qual constitui a cobertura vegetal do solo, significa o processo intermediário entre os fenômenos do ciclo hidrológico de precipitação e escoamento superficial (SILVEIRA, 2014). O fenômeno estudado se estabelece quando esta parcela de água precipitada está a reprecipitar no solo, na ocasião em que exceda a capacidade de armazenamento de água pelos vegetais ou a expulsão da água sobre a superfície vegetal ocasionado por outros fenômenos naturais, tal como a ação dos ventos (SILVEIRA, 2014).

De acordo com o mesmo autor, a outra parcela do volume de água precipitado volta à atmosfera devido à evaporação ocorrida no próprio processo de precipitação, sendo que há regiões que nem mesmo ocorre a interceptação da água com o solo, já que a água precipitada é inteiramente vaporizada.

Há também a ocorrência da evaporação do volume de água em contato com o solo devido à transpiração dos vegetais, à evaporação do solo e das camadas líquidas. Outra fração do volume de água é infiltrado no solo e outra parte é escoada livremente sobre ele, acompanhando as linhas de maior declive (GARCEZ; ALVAREZ, 2004, p.211).

A retenção da água na superfície, portanto, compõe a “parte da precipitação de tempestade que nem se apresenta como infiltração ou como escoamento superficial

imediatamente ou durante a tempestade” (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, p.258, tradução nossa).

A relação solo-água é importante para compreender o processo de geração do escoamento superficial; somente após a saturação do solo que o fenômeno irá ocorrer.

O solo é permeado pelos canais sem capilaridade através do qual a água sujeita à gravidade escoar para baixo em direção ao lençol freático, seguindo o caminho de menor resistência. Forças capilares continuamente desviam as forças da água pela gravidade dentro dos espaços de poros capilares, de modo que a quantidade de água sujeita à gravidade que passam sucessivamente nos horizontes mais baixos seja diminuída de forma constante (LINSLEY; KOHLER; PAULHUS, 1975, p.260, tradução nossa).

De acordo com os mesmos autores, a máxima taxa em que a água consegue entrar no solo é chamada de capacidade de infiltração. Conforme a capacidade de infiltração diminui, facilita-se o escoamento superficial.

A rede de drenagem superficial, segundo Garcez e Alvarez (2004) é constituída de águas livres que caracterizam a fração de água superficial que não possui um escoamento que tenha um caminho preferencial, e águas sujeitas que caracterizam a fração de água superficial que tem um caminho preferencial de escoamento. Ambas são importantes, pois estão relacionadas à ocorrência de eventos interessantes à engenharia como processos de erosão no caso das águas livres e os cursos de águas no caso das águas sujeitas.

O processo de formação dos cursos de águas e da rede de drenagem superficial é explicado também pelos mesmos autores como sendo a consequência da descida das águas livres após a precipitação para as partes mais baixas do relevo, com a formação de pequenos canais que com o processo de erosão formam canais com dimensões e profundidades maiores definindo o caminho da água (GARCEZ; ALVAREZ, 2004).

É dado o nome de *torrentes* à reunião dos vários microcanais que já possuem uma relação entre escoamento e regime de precipitação. A rede de drenagem, portanto, é formada pelo conjunto de calhas nos fundos de vales, que também tomam forma pelo avanço do processo erosivo nas torrentes, e pelo curso de água principal (GARCEZ; ALVAREZ, 2004).

2.4 BACIA HIDROGRÁFICA

A bacia hidrográfica é o elemento fundamental para analisar o ciclo hidrológico na superfície terrestre de acordo com Silveira (2014). O autor define a bacia hidrográfica como sendo:

[...] uma área de captação natural de água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2014, p.40).

Para Hipólito e Vaz (2013, p.61) a bacia hidrográfica seria para uma secção transversal de um curso de água como:

[...] o lugar geométrico dos pontos a partir dos quais o percurso superficial de uma gota de água passa na referida secção transversal, que se designa por secção de referência. O limite desse lugar geométrico designa-se por limite da bacia hidrográfica e constitui uma linha de separação de águas ou um divisor de águas.

As características fisiográficas, bem como as características climáticas da região influenciam no comportamento hidrológico da bacia hidrográfica (HIPÓLITO; VAZ, 2013). Entende-se como características fisiográficas o agrupamento de características geométricas como “o tamanho, a forma, o relevo, o declive, a orientação e a rede fluvial de drenagem” (HIPÓLITO; VAZ, 2013, p.64) e físicas como “a geologia, o tipo e o uso dos solos, no qual se incluem o tipo de cobertura vegetal e a ocupação humana” (HIPÓLITO; VAZ, 2013, p.64).

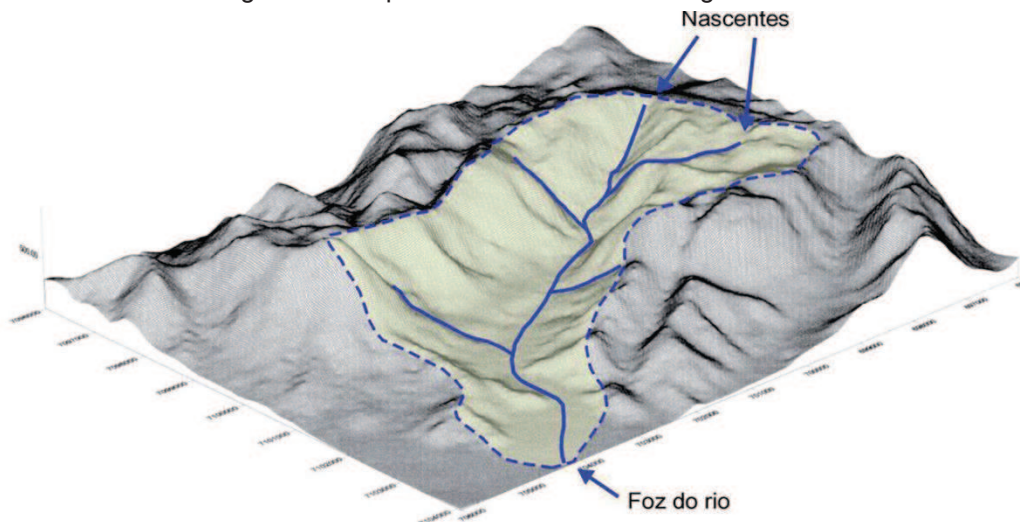
A área de drenagem, o perímetro, o índice de compacidade, o fator de forma, o retângulo equivalente e o índice de alongamento são parâmetros para caracterizar geometricamente uma bacia hidrográfica (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

Os mesmos autores também expõem que o limite de uma bacia hidrográfica torna-se impreciso quando considera-se para a definição da mesma a componente do escoamento subterrâneo, uma vez que “pode acontecer que um aquífero não fique inteiramente contido nos limites duma bacia hidrográfica” (HIPÓLITO; VAZ, 2013, p.63). Portanto, a linha topográfica representa o escoamento superficial e a linha freática o escoamento subterrâneo (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

Sob a ótica da bacia hidrográfica como um sistema físico de entrada e saída, Silveira (2014) descreve-o em função do volume de água precipitado, como sendo a entrada do sistema e em função do volume escoado no exutório da bacia hidrográfica

como a saída do sistema, considerando-se como perda intermediária os volumes evaporados e transpirados. A transformação da água precipitada para vazão, segundo o autor: papel da bacia hidrográfica no ciclo hidrológico, é explicitado no hidrograma – saída do sistema– e hietograma – entrada do sistema. A Figura 5 ilustra o esquema de uma bacia hidrográfica.

Figura 5 – Esquema de uma Bacia Hidrográfica.



Fonte: CCJ (2017).

De acordo com a Cômite de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira - CCJ (2017) as bacias hidrográficas são unidades geográficas básicas no âmbito do planejamento de recursos hídricos. Segundo a CCJ (2017) os planos que envolvem a análise quantitativa e qualitativa da água, os cálculos que envolvem o escoamento e as projeções e inundações são determinadas através dos dados que caracterizam uma bacia hidrográfica, como sua área, uso do solo e outras características fisiografias.

2.5 AQUISIÇÃO DE DADOS

A relação entre o desenvolvimento de um país ou região tem ligação com as informações de seus recursos naturais, bem como as informações referentes aos recursos hídricos presentes (GARCEZ; ALVAREZ, 2004).

Os autores destacam que coleta e transmissão de dados, tais como dados pluviométricos e fluviométricos, devem ser realizadas com a máxima velocidade e numa periodicidade curta.

A rede coletora de dados depende de capital humano para os registros e transmissão dos dados e a implantação de estações meteorológicas, operadas pelas pessoas encarregadas dessa função (GARCEZ; ALVAREZ, 2004). Os dados coletados, por fim, serão utilizados para a “definição de planos e programas de desenvolvimento, balizar uma pesquisa detalhada numa região específica, bem como de registrar e acompanhar as variações do tempo na área em estudo” (GARCEZ; ALVAREZ, 2004, p.30). De acordo com os mesmos autores, a utilização dos dados será útil consoante às necessidades locais ou regionais por “entidades públicas, autárquicas ou privadas, no sentido de nortear a previsão de fenômenos meteorológicos” (GARCEZ; ALVAREZ, 2004, p.30).

As informações concernentes à saída do sistema hidrológico associadas às vazões não são suficientes para utilização sem que haja etapas de processamento, correção e consistência dos dados medidos (CHEVALLIER, 2014). Para o mesmo autor, a validação dos dados representa a primeira dificuldade sobre a etapa de medição em um lugar conhecido num determinado instante.

A vazão “é a relação entre o volume escoado e o intervalo de tempo em que escoar; é igual ao produto da velocidade média pela área da seção. Pode referir-se, também, a valores instantâneos ou a valores médios de certos períodos. Mede-se em m^3/s ” (GARCEZ; ALVAREZ, 2004, p.215).

As vazões máximas, vazões mensais, vazões mínimas, duração das cheias, durações dos períodos de estiagem, frequências com que ocorrem cheias, estiagens etc. compõe um arcabouço de informações utilizadas para o dimensionamento, a construção e a manutenção de obras hidráulicas (RIGHETTO, 1998).

A importância de séries de valores de vazões é destacada por Righetto (1998, p.359):

A partir de dados observados, procura-se construir um modelo matemático que exprima as principais características hidrológicas dessa série temporal, permitindo assim, a geração de cenários ou sequências de vazões.

Segundo Chevallier (2014) a aquisição de dados de escoamento pode ser obtida por meio de diversos métodos. O mesmo autor destaca que as medições diretas de vazões podem ser muito caras e demoradas. Assim, procura-se estabelecer uma relação (curva-chave) entre o nível de água observado com a vazão. De acordo com Garcez e Alvarez (2004, p.215) “o registro sistemático dos níveis de água

constitui a base dos estudos fluviométricos, devido à facilidade com que podem ser efetuadas as observações”.

Para Chevallier (2014) a localização em que deve ser instalado o equipamento de medição que faz aferição do nível da água, não segue regras gerais devido à ampla presença de fatores que interferem no escoamento.

A princípio a estação deve ser colocada num trecho reto, com uma seção transversal onde a velocidade do fluxo é, se possível estável a qualquer cota, tanto em estiagem como em cheia. Deve existir a jusante uma seção de controle estável que permita manter idênticas as condições de escoamento o longo do tempo. Em pequenos rios, se essa seção de controle não existir, pode ser construída (CHEVALLIER, 2014, p.498).

2.6 GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS

“A água pode ser classificada, tanto como um recurso natural e, conforme o uso que lhe é destinado, como bem de consumo intermediário ou final. Por exemplo, quando usada para irrigação ou usos domésticos, respectivamente” (LANNA, 2014, p.729).

O modo em que se faz o uso do recurso hídrico, permite classificá-lo em usos consuntivos, usos não-consuntivos e usos locais (MENDES, 2007).

Os usos consuntivos são aqueles que diminuem a disponibilidade hídrica, ou seja, na devolução do recurso hídrico à fonte natural ocorre a diminuição na quantidade de água em relação ao que se captou (MENDES, 2007). O autor exemplifica as atividades que compõe esta classificação como as relacionadas a irrigação, sistemas industriais de processamento e arrefecimento, geração de termoeletricidade, pecuária etc.

Os usos não-consuntivos são aqueles que diminuem em menor proporção à disponibilidade hídrica, ou seja, na devolução do recurso hídrico à fonte natural ocorre o retorno que se aproxima da totalidade da água captada anteriormente (MENDES, 2007). O autor exemplifica as atividades que compõe esta classificação como as relacionadas à mineração, navegação, piscicultura, geração de energia hidrelétrica, diluição de efluentes etc.

Os usos locais são aqueles em que não há o uso da água na própria fonte sem realizar alterações significativas da disponibilidade hídrica no tempo ou espaço

(MENDES, 2007). De acordo com o autor o uso de estuários e preservação de banhados são ações que representam esta classificação de uso.

O crescente uso da água, seja caracterizando-a como um bem de consumo final ou de consumo intermediário, lançou luz sobre a necessidade de evitar e administrar os conflitos gerados pelo aumento da intensidade desses usos (LANNA, 2014).

A agravante intensificação do uso da água exige gerir conflitos pela água e estabelecer uma gestão integrada de uso, controle e conservação dos recursos hídricos levando em consideração a gama de usos, objetivos e alternativas (LANNA, 2014). Tem-se o quadro montado que é complexo e exige estabelecer a ligação entre diversas disciplinas que versam sobre o campo econômico, social e ambiental além do técnico (LANNA, 2014).

Sobre o poder de controle exercido sobre a água, Lanna (2014, p.728) indica que “o Estado e a União, para assumirem efetivamente a propriedade deste recurso estratégico, em nome e para benefício da sociedade, devem estruturar sistemas de gerenciamento que incorporem as diretrizes de um Modelo de Gestão adequado”. O autor indica a vulnerabilidade e a importância estratégica deste recurso como justificava para não dar à propriedade privada a sua apropriação.

A discussão sobre a gestão dos recursos hídricos toma corpo a partir da década de sessenta do século passado devido à necessidade de se colocar em lados opostos da balança econômica, social e ambiental: disponibilidade e demanda hídrica (HIPÓLITO; VAZ, 2013). Aquela década marcou-se pelos movimentos que debatiam veementemente novas formas de organização social, o que inclui-se a relação do homem com o meio ambiente (MENDES, 2007).

A evolução da discussão com relação ao meio ambiente continua ao longo do século XX. No ano de 1972 realiza-se em Estocolmo, Suécia, a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente Humano, que resultou na Declaração de Estocolmo sobre Meio Ambiente que tinha como proposta a melhoria de fatores qualitativos que se impuseram diante de novos cenários de desenvolvimento (MENDES, 2007).

Nasce em 1987, segundo Setti (2001 *apud* MENDES, 2007), a definição do que se entende como desenvolvimento sustentável, no relatório da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, também denominado Relatório de Brundtland. Concebeu-se desenvolvimento sustentável, de acordo com o autor citado

por Mendes, a prática de incluir na definição de política e planejamento, considerações ambientais, que, portanto, resultassem na coerente utilização dos recursos naturais e garantia das futuras gerações a capacidade de suprir suas próprias demandas.

Pode-se aferir três estágios de preocupações com o uso da água na sociedade ao longo da história, conforme Hipólito e Vaz (2013). No primeiro estágio de preocupação, fins do século XIX, debatia-se o abastecimento de água sob o ponto de vista de melhorar a saúde pública; o segundo estágio, já na metade do século XX, o debate centralizava-se sobre o desenvolvimento econômico e por fim o terceiro estágio (décadas atuais) o debate é norteado sob o ponto de vista da conservação ambiental e da sustentabilidade.

Mendes (2007) destaca alguns pontos principais sobre a discussão estabelecida sobre a água em Dublin, Irlanda, no ano de 1992 com a Conferência Internacional sobre Água e Meio Ambiente. O evento foi uma preparação à Conferência do Rio de Janeiro. São os pontos principais da declaração para Mendes:

A água doce é estabelecida como um recurso que por sua vez possui vulnerabilidade e finitude do ponto de vista quantitativo e qualitativo, também é estabelecida como um elemento essencial para a conservação da vida e manutenção do desenvolvimento e do meio ambiente, dessa forma a água doce é reconhecida e estabelecida como bem intermediário e que possui valor econômico em todas os seus usos. Por fim Mendes (2007) destaca o trecho relacionado a conjunção dos usuários, planejadores e decisões políticos no desenvolvimento e gestão da água.

Segundo Barth (1999 *apud* MENDES, 2007) os documentos brasileiros com relação à discussão sobre o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, foram gerados com maior intensidade na década de 1980 junto à Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Destacam-se, segundo o autor citado por Mendes, três documentos gerados na época que mais tarde, foram incorporados na Lei Federal nº. 9.433/97 que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos: Carta de Salvador, realizada em 1987; Carta de Foz de Iguaçu, realizada em 1989 e a Carta do Rio de Janeiro, realizada em 1991.

2.6.1 Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil

A disponibilidade hídrica no Brasil não significa o acesso à água para todos os brasileiros (PEREIRA, 2005). Este agravante, segundo o autor, acontece devido à heterogeneidade na distribuição do recurso em todo território brasileiro. Para a Agência Nacional de Águas (ANA), em termos quantitativos, a vazão média escoada no Brasil é de 260.000 m³/s (ANA, 2016), sendo que 205.000 m³/s é drenado apenas pela bacia do rio Amazonas, restando 55.000 m³/s de vazão em média para o resto do país.

Explica-se a discrepância com relação à concentração de água na região Norte do país, onde está localizada a bacia do Rio Amazonas, ao restante do país devido a estreita relação entre o regime fluvial e o regime de precipitações, que variam bruscamente ao longo do ano (ANA, 2016).

A realidade para uma fatia significativa da população brasileira, de acordo com Pereira (2005), é de escassez de água, dificuldade no acesso ao recurso e presença constante de racionamento, em razão da demanda para outros tipos de uso além de outros fatores como poluição e esgoto.

A utilização da expressão recurso hídrico é decorrente da água ser além de necessária à sobrevivência da espécie humana, a água é um fator de produção de acordo com Pereira (2005).

O gerenciamento do recurso hídrico mitiga a escassez de água e sua má qualidade devido à concorrência ou uso múltiplo dentro da bacia hidrográfica (PEREIRA, 2005).

Há a necessidade, portanto, de se exercer um controle sobre o uso da água, perspectiva adotada recentemente no país, segundo Pereira (2005).

O histórico sobre a tentativa de se regulamentar do uso da água no país tem início no ano de 1934, com o Código de Águas Brasileiro (PEREIRA, 2005). Nele, Costa (2003 *apud* PEREIRA, 2005) pondera que o contexto econômico do país era utilizar a água fundamentalmente para geração de energia elétrica com o objetivo de industrializar o Brasil.

Com o aumento da industrialização do país, houve na década de 1970 uma potencialização dos conflitos pelo recurso com o grande impulso na expansão da urbanização e aumento da produção do setor agrícola, sendo que se observou

também na época, um claro aumento da degradação do meio ambiente, bem como a piora da qualidade da água (PEREIRA, 2005).

Criam-se em 1978 os Comitês Especiais de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH) com participação apenas do setor público. Essas entidades procuraram reduzir os impactos causados pela crescente demanda por água observada na década (PEREIRA, 2005)

A promulgação da Constituição Federal em 1988 dá à União e aos Estados a atribuição de promover a gestão dos recursos hídricos, retirando-se deste modo o domínio particular (PEREIRA, 2005). Determinou-se o “a instituição dos sistemas nacional e estaduais de gerenciamento de recursos hídricos e a definição de critério de outorga e de direitos do uso da água” (PEREIRA, 2005, p.18). Para o autor, essa imposição motivou os Estados a criarem suas próprias políticas e sistemas de recursos hídricos.

De acordo com Pereira (2005) a descentralização da regulamentação juntamente com a pressão acerca da participação da sociedade civil sobre decisões, usuários da água e entidades governamentais deu embasamento à elaboração da Lei nº 9433/97. Estão entres seus fundamentos: o reconhecimento da água como um bem de domínio público, o fato de ser limitada e de ter valor econômico.

2.6.2 Lei nº 9433/97

No ano de 1997, estabeleceu-se a Lei nº 9433/97 que trata dos Recursos Hídricos na esfera federal (BRASIL, 1997). De uma forma sistêmica, a conservação e recuperação dos recursos hídricos degradados, bem como evitar impactos que reflitam na piora da qualidade dos recursos hídricos compõem a visão objetiva da Lei (CRUZ, 2001).

Segundo Cruz (2001) a legislação estabelece a bacia hidrográfica como unidade geográfica para gestão dos recursos hídricos. A legislação é composta por “um conjunto de instrumentos jurídico-político-administrativos, com abertura de espaço para a participação direta da sociedade por meio dos Comitês de Bacia Hidrográfica” (CRUZ, 2001, p.2).

A gestão da oferta e a gestão da demanda, de acordo com Cruz (2001), são duas divisões interpretativas da Lei ao analisá-la quanto à estrutura legal e institucional no Sistema de Gerenciamento. A gestão da oferta, esclarece o autor,

seria uma prerrogativa do Estado que é proprietário da água e objetiva estabelecer ações para garantia da disponibilidade do recurso. Na gestão de demanda, objetiva-se evitar situações de conflito por meio da racionalização do uso da água.

Como instrumento para realizar a derivação da água, a Lei nº 9433/97 lança a outorga de uso o qual representa a permissão do Estado – uma licença – para o usuário, tendo em vista suas necessidades, retirar um determinado volume de água de um rio (CRUZ, 2001).

A concessão da outorga de direito de uso da água impõe analisar vários critérios além da disponibilidade hídrica. Esses critérios variam conforme as características ambientais e econômicas bem como a legislação vigente na região (SILVA *et al.*, 2006).

O Brasil possui uma das mais modernas leis de gerenciamento de recursos hídricos do mundo. Dentre seus instrumentos de gestão e planejamento, a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos permite ao órgão gestor o controle quantitativo e qualitativo dos recursos hídricos (SILVA, B.; SILVA, D.; MOREIRA, 2015, p.623).

No Brasil, explicam Vestena *et al.* (2012), a partir da disponibilidade hídrica real do curso de água é que se estabelecem os valores máximos de retirada de volumes de água aos outorgados.

No que diz respeito à captação da água do rio, exige-se uma análise preliminar sobre a vazão mínima de referência a qual é utilizada como critério quantitativo no Brasil. No país utilizam-se comumente as vazões $Q_{7,10}$ e Q_{90} ou Q_{95} (SOUZA *et al.*, 2012). De acordo com HARRIS *et al.* (2000 *apud* SILVA *et al.*, 2006) a utilização do valor de referência para definição da vazão outorgável é apropriada quando visa a proteção do rio.

2.6.3 Análise Quantitativa dos Recursos Hídricos no Plano Estadual de Recursos Hídricos de 2017 – PERH/SC

O diagnóstico da disponibilidade hídrica superficial para o estado de Santa Catarina é apresentado no relatório final do Plano Estadual de Recursos Hídricos de 2017 – PERH/SC (SDS, 2017) com o título: PERH_SC_Cenario_atual_CERTI-CEV_2017_final (SDS, 2017). A análise quantitativa dos dados deste relatório tem base em informações levantadas na etapa de caracterização geral das Regiões Hidrográficas – RH e o estudo de regionalização de vazões das bacias hidrográficas

do Estado de Santa Catarina, produzido no contexto dos “Estudos dos Instrumentos de Gestão de Recursos Hídricos para o Estado de Santa Catarina e Apoio para sua Implementação”, no âmbito do Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural da Secretaria de Abastecimento e Desenvolvimento Rural – PRAPEM/SC (SADR, 2006b).

As vazões $Q_{7,10}$; Q_{98} ; Q_{95} e Q_{90} foram estimadas utilizando as equações disponibilizadas no estudo de regionalização, de acordo com a região homogênea em que a bacia era localizada (SADR, 2006a).

De acordo com o relatório do PRAPEM/SC, os estudos hidrológicos de regionalização de vazões presentes no documento, tem como objetivo definir relações funcionais que permitam determinar facilmente os parâmetros necessários para caracterizar a disponibilidade hídrica natural das bacias hidrográficas estaduais do estado.

Os dados fluviométricos utilizados no relatório da PRAPEM/SC, foram submetidos a alguns critérios para que fossem utilizados como base nos estudos de regionalização de vazões como: as estações fluviométricas deveriam estar localizadas em rios estaduais do Estado de SC; estar localizada em rios federais ou em rios estaduais do Paraná ou Rio Grande do Sul próximas às bacias hidrográficas de rios estaduais do Estado de SC que disponham de poucos dados de vazões para desenvolver os estudos de regionalização; dispor de uma série de vazões com extensão igual ou superior a 19 anos e incluir postos fluviométricos considerados nos estudos anteriores de regionalização de vazões dos rios estaduais de Santa Catarina, com exceção daqueles cuja série seja inferior a 19 anos.

De acordo com o relatório do PRAPEM/SC as vazões mínimas anuais de 7 dias consecutivos ($Q_{7,10}$) representam um parâmetro hidrológico utilizado em avaliações de disponibilidade hídrica de mananciais para fins de abastecimento, em licenças ambientais de aproveitamentos hidrelétricos com arranjo em derivação e principalmente em outorgas de uso dos recursos hídricos. No documento apresentado pela SADR (SADR, 2006a), para o Rio Cubatão, a vazão mínima média de 7 dias consecutivos com tempo de retorno T é expressa pela equação (1).

$$Q_{7,T} = K_{7,T} * 4,412 \times 10^{-2} * AD^{0,744} \quad (1)$$

Onde:

$K_{7,T}$ – relação entre a vazão mínima média de 7 dias consecutivos com período de retorno T e a média das vazões mínimas médias anuais de 7 dias consecutivos;

AD – área de drenagem em km²;

A relação $K_{7,T}$, para a região do Rio Cubatão, com diferentes tempos de retorno é demonstrada na Tabela 1.

O mesmo documento apresenta as vazões de permanência médias mensais regionalizadas, para o Rio Cubatão, através da equação (2).

Tabela 1 - Relação $K_{7,T}$ em função do Tempo de Retorno

Tempo de Retorno (anos)	$K_{7,T}$
2	1,00
2,5	0,91
5	0,70
10	0,59
15	0,55
20	0,52
25	0,51
50	0,48
100	0,45

Fonte: Adaptado de SADR (2006).

$$Q_p = K_p * 1,887 \times 10^{-5} * P^{1,142} * AD^{0,828} \quad (2)$$

Onde:

K_p – relação entre a vazão média mensal associada à permanência e a vazão média de longo termo;

P – precipitação anual média da bacia hidrográfica, expressa em mm/ano;

AD – área de drenagem da bacia hidrográfica expressa em km².

A relação K_p , para a região do Rio Cubatão, com diferentes porcentagens de permanência é demonstrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Relação K_p em função da Permanência (%)

Permanência (%)	K_p
65	0,74
70	0,69
75	0,64
80	0,59
85	0,53
90	0,48
95	0,42
98	0,36
100	0,26

Fonte: Adaptado de SADR (2006).

2.7 VAZÕES MÍNIMAS

2.7.1 Análise estatística de eventos extremos

As secas e as cheias são fenômenos naturais que se assemelham quando se faz a análise de seus impactos negativos e prejuízos causados ao homem, entretanto os fenômenos das secas e cheias possuem características diferentes (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

A escassez de água ocorre frequentemente em várias partes do mundo, e em parte este fenômeno acontece pela crescente demanda por água muitas vezes relacionada a outros fenômenos que são de caráter demográfico, econômico e climático. O aumento populacional e a expansão dos setores da agricultura, energia e indústria bem como a mudança do clima e contaminação de reservas de água são as principais causas observadas segundo Bates *et al.* (2008 *apud* MISHRA; SINGH, 2011, tradução nossa).

De acordo com Hipólito e Vaz (2013) as características que diferem os fenômenos das secas e cheias estão relacionadas, sobretudo, à extensão geográfica de ocorrência, ao tempo de ocorrência e à forma de desencadeamento de ambos os fenômenos.

Quanto à extensão geográfica de impacto das secas evidencia-se sua ocorrência sobre uma área muito mais extensa comparada ao fenômeno das cheias. Ao atingir uma região inteira de um determinado país ou até mesmo sobre um país inteiro, Hipólito e Vaz (2013) afirmam que as secas não possuem uma extensão

geográfica bem definida como ocorre com as cheias: em extensões geográficas geralmente pequenas e em planícies que margeiam rios ou cursos de águas.

“As cheias têm uma duração temporal pequena – horas, dias, excepcionalmente semanas. Por seu lado, as secas têm uma duração temporal extensa – semana, normalmente meses, por vezes até mais de um ano” (HIPÓLITO. VAZ, 2013, p. 573).

O desencadeamento de ambos os fenômenos é diferenciado pela possibilidade de definir o início e o fim das cheias e a impossibilidade de se fazer o mesmo com o fenômeno das secas (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

A seca distingue-se da cheia, de maneira geral, por ter um desencadeamento mais imperceptível, ocorrer de forma mais lenta, maior tempo de ocorrência, extensão geográfica de incidência muito mais extensa e a recuperação se desenrolar lentamente (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

Para HIPÓLITO e VAZ (2013) a análise estatística de extremos constitui-se de algumas etapas que propõem estudar ambos os fenômenos naturais de forma simétrica, ou seja, de maneira geral é feita a aplicação dos mesmos métodos estatísticos para ambos os fenômenos.

Entretanto, essa inferência estatística com o a escolha da distribuição teórica de probabilidade ajustada ao fenômeno de extremo, a definição dos parâmetros, a avaliação do ajustamento através de testes estatísticos como o do X^2 (teste qui-quadrado de aderência) ou o de Kolmogorov-Smirnov e a escolha final da distribuição para previsão levando-se em conta períodos de retorno elevados é inadequada para o fenômeno de secas (HIPÓLITO; VAZ, 2013).

A inadequação para o cálculo envolvendo as inferências estatísticas de aproximação para análises de características de períodos de seca também é destacada por Cancelliere e Salas (2010, tradução nossa). As análises de períodos de seca baseadas em um ajuste de distribuição probabilística geralmente trazem resultados não confiáveis, pois há um número limitado de períodos de secas que podem ser observadas ao longo de uma série de dados, mesmo que esta série possua uma extensão de dados (CANCELLIERE; SALAS, 2010, tradução nossa).

No estudo das secas, afirmam Hipólito e Vaz (2013), a análise estatística é mais útil quando se consideram outras variáveis hidrológicas como “a precipitação, e se toma um longo período de tempo, como o trimestre, o semestre ou o ano” (HIPÓLITO; VAZ, 2013, p.578).

Segundo Mishra e Singh (2011, tradução nossa) os modelos estatísticos que procuram prever fenômenos de secas bem como entender esses fenômenos vem ganhando mais atenção de ecologistas, hidrologistas, meteorologistas e cientistas agrícolas, pois o fenômeno é muito importante quando se trata de planejamento e gestão de recursos hídricos.

2.7.2 Vazão mínima estatística

A vazão mínima é determinada pelo seu valor, duração e probabilidade de ocorrência (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016). As vazões mínimas, segundo os autores, são variáveis aleatórias e, portanto, passíveis de aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de sua probabilidade de ocorrência.

“O valor da vazão mínima é correspondente à média da vazão de estiagem na duração considerada e a probabilidade de ocorrência é fornecida pela distribuição estatística que melhor se ajusta a esta variável assim definida.” (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016, p. 129).

A probabilidade de ocorrência de um evento mínimo geralmente é substituída pelo seu inverso, o período de retorno em anos ou tempo de retorno em anos, para que se tenha uma medida que expresse a raridade ou não do evento de estiagem (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

O tempo de retorno de uma variável estatística definido por um valor e tempo de duração, deve ser interpretada como o tempo médio em que esta variável estatística pode vir a ser inferiorizada ou igualada. Neste caso, um valor de vazão mínima estatístico e seu tempo de duração, deve-se interpretar como o tempo médio em que esta variável estatística pode vir a ser inferiorizada ou igualada (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

A notação utilizada para caracterizar um determinado valor de vazão mínima estatística geralmente é expressa por $q_{d,T}$, em que d representa a duração em dias e T o tempo de retorno. A vazão mínima estatística de interesse será diretamente estabelecida pela duração considerada e pelos diferentes tempos de retorno (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

Os valores de vazões mínimas estatística dependem também da escala temporal ao qual são submetidos, sendo que os valores são notadamente diferentes

quando feita uma análise de vazões mínimas anuais frente a uma análise de vazões mínimas mensais (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

Conforme Luiz (2013) os menores valores médios registrados a cada ano civil em uma dada seção de um rio equivalem ao que se denomina vazões mínimas. As vazões mínimas são usadas na avaliação da disponibilidade hídrica, na elaboração de projetos de irrigação e de energia elétrica, na concessão de outorga e em estudos aquáticos e de qualidade de água (LUIZ, 2013).

As vazões mínimas segundo o entendimento de Luiz (2013) estão associadas a um fenômeno sazonal. De acordo com o Word Meteorological Organization (WMO) (1974 *apud* LUIZ, 2013, p.16) as vazões mínimas podem ser definidas como “a vazão que escoar em uma determinada seção de um rio durante um período prolongado de seca”.

O estabelecimento e vazões mínimas podem ser classificados segundo Pyrcce (2004, tradução nossa) de acordo com o método hidrológico, hidráulico, de classificação do habitat ou holístico. Neste trabalho de conclusão de curso, interessa o método hidrológico no qual as vazões são obtidas usando métodos simples, dados hidrológicos (registros de vazão diárias ou mensais) e inclusão de percentuais de permanência de durações de vazões, como a Q_{95} e Q_{75} ou um único índice de vazões mínimas, como a vazão $Q_{7,10}$.

A definição de vazão de referência $Q_{7,10}$ é dada por Oliveira e Fioreze (2011, p.10) como a que “corresponde à vazão mínima com sete dias de duração e tempo de retorno de dez anos, ou seja, em média, há o risco de ocorrer sete dias seguidos com esta vazão mínima”.

2.8 HIDROLOGIA ESTATÍSTICA

Segundo Lanna (2001) a aleatoriedade dos processos hidrológicos impossibilita o ser humano acompanhar a evolução dos mesmos ao longo do tempo e do espaço, dificultando da mesma forma sua interferência no meio natural, já que seus empreendimentos estão diretamente ligados a esses processos hidrológicos. A forma encontrada pelo ser humano para superar as dificuldades impostas pela aleatoriedade dos processos hidrológicos deu-se com a criação de instrumentos como a teoria das probabilidades e a estatística.

A ampla escala em que ocorrem os fenômenos hidrológicos impossibilita sua reprodução. Desta forma o indivíduo interessado em estudar um determinado fenômeno hidrológico procura observar o fenômeno e arquivar os dados observados formando uma amostra. Através dessa amostra o indivíduo interessado no estudo do fenômeno hidrológico submete-os à análise estatística (LANNA, 2001).

De acordo com Lanna (2001) a análise estatística da amostra permite verificar a possibilidade da repetição de determinados eventos bem como a correlação entre o processo natural e um processo teórico que consiga ser extrapolado e que permita prever eventos hipotéticos com determinadas características. Segundo o autor, a verificação de características semelhantes entre o processo natural e o processo teórico possibilita a criação de modelos probabilísticos que melhor representem esses processos.

Os modelos teóricos de probabilidades devem, segundo Lana (2001), ser ajustados da melhor maneira possível à amostra de dados para se obter a melhor representação do fenômeno hidrológico. Desta forma, o objetivo da análise e as características do processo determinam a escolha da representação do fenômeno hidrológico.

2.8.1 Estatística básica

De acordo com Barbetta *et al.* (2008, p.17) a definição de população é dada como o “conjunto de elementos que formam o universo de nosso estudo que são passíveis de serem observados, sob as mesmas condições”. Já o conceito de amostra é dado como sendo “parte dos elementos de uma população”

Também importante, o conceito de variável aleatória pode ser descrito, conforme Barbetta *et al.* (2008, p.18) como “uma variável quantitativa, cujo resultado depende de fatores aleatórios”.

Ao se analisar uma amostra é correto se analisar medidas descritivas das observações. Segundo os autores, as duas medidas descritivas mais utilizadas são a média e a variância.

Conforme Barbetta *et al.* (2008) ao se considerar uma amostra de n observações de certa variável aleatória $\mathbf{X}: \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, a média aritmética é dada pela equação (3).

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3)$$

Onde:

\bar{x} – média aritmética;

n – número de observações.

O cálculo da média aritmética é muitas vezes realizado antes da observação efetiva da amostra. A média é, segundo Barbetta *et al.* (2008), um valor central que representa a tentativa de se obter o valor real daquilo que se está observando. Entretanto, deve-se submeter a amostra de n observações a uma análise mais rigorosa com o emprego da variância.

A medida da variância calcula os desvios de cada valor da amostra n em relação à média, representando uma medida de variabilidade (BARBETTA *et al.*, 2008). A variância é definida como o a média aritmética dos desvios quadráticos.

A variância de um conjunto de valores é dada pela equação (4):

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4)$$

Onde:

s^2 – variância da amostra;

n – número de observações.

Segundo os autores, é mais comum calcular a variabilidade de um conjunto de valores pelo desvio padrão. O desvio padrão é calculado pela equação (5) como a raiz quadrada da variância e permite analisar a variabilidade dos dados na mesma unidade dos dados.

O desvio padrão é calculado por:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (5)$$

Onde:

s – desvio padrão;

\bar{x} – média aritmética;

2.8.2 Análise de Frequências

Segundo Chow (1964 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007) um quantil de uma variável hidrológica pode ser calculado pela média μ_x somada a um desvio ΔX , representada pela equação (6):

$$X = \mu_x + \Delta X \quad (6)$$

Onde:

μ_x – média;

ΔX – desvio.

Chow (1964 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007, p. 320) diz que “o valor de ΔX depende da dispersão característica da distribuição de X , do tempo de retorno e de outros parâmetros do modelo probabilístico”. Segundo o autor, o desvio ΔX pode ser calculado como o produto do desvio padrão σ por um fator de frequência k_t . De acordo com Naguettini e Pinto (2007, p.320) “o fator de frequência é uma função do tempo de retorno e da distribuição de probabilidades empregada na análise”.

Substituindo ΔX pelo produto do desvio padrão e fator de frequência, tem-se a equação (7):

$$X = \mu_x + \sigma k_t \quad (7)$$

Onde:

μ_x – média aritmética ;

σ – desvio padrão.

Ao realizar a substituição pelas estimativas amostrais, tem-se a equação (8):

$$x_T = \bar{x} + s k_T \quad (8)$$

Onde:

x_T – estimativa do quantil associado ao tempo de retorno T;

\bar{x} – média amostral;

s – desvio padrão amostral;

k_t – fator de frequência associado ao modelo probabilístico e ao tempo de retorno T.

2.8.3 Média Móvel

A média móvel é utilizada para determinar a vazão mínima de sete dias. As séries temporais de acordo com Hyndman e Athanasopoulos (2019, tradução nossa) exibem uma variedade de padrões e é possível dividi-las em vários componentes que representam uma categoria de padrão. São componentes de uma série temporal como: tendência, sazonalidade e resíduo. Segundo Hyndman e Athanasopoulos (2019, tradução nossa) a média móvel é um método clássico de decomposição de séries temporais e é utilizada para estimar o componente de tendência destas decomposições para melhorar a precisão das previsões.

Conforme Hyndman e Athanasopoulos (2019, tradução nossa) a média móvel de ordem m , que é a média dos valores de k períodos antes e depois de um tempo t , descritos na equação (9), para $m=2k +1$. Esta média móvel elimina parte da aleatoriedade nos dados, deixando uma componente de tendência mais suave.

$$\hat{Y}_t = \frac{1}{m} \sum_{i=-k}^k y_{t+i} \quad (9)$$

Onde:

m – ordem da média móvel;

$k = (m - 1)/2$ períodos ;

t – tempo analisado;

y – variável analisada;

Y – variável suavizada pela média móvel.

A vazão de sete dias consecutivos é calculada, portanto, por uma média móvel de ordem 7, com a seleção de 3 elementos antes e depois de cada vazão para a média.

2.8.4 Distribuição Assintótica dos Extremos do tipo I para série de mínimos ou Distribuição de Gumbel

De acordo com Mendes (2007) a distribuição de Gumbel é uma distribuição de probabilidades muito utilizada para a análise de frequências de fenômenos hidrológicos mínimos anuais.

Ainda segundo Lanna (2001), a distribuição de Gumbel é uma função de probabilidades de dois parâmetros: α como sendo parâmetro de escala e μ como parâmetro de posição.

De acordo com Lanna (2001), a função cumulativa de probabilidades para valores mínimos é dada pela equação (10):

$$P[Y \geq y] = e^{-e^{\alpha(y-\mu)}} \quad (10)$$

Onde:

- α – parâmetro de escala;
- μ – parâmetro de posição;

E a função densidade de probabilidades é dada pela equação (11):

$$f[y] = \alpha e^{\{\alpha(y-\mu) - e^{\alpha(y-\mu)}\}} \quad (11)$$

Onde:

- α – parâmetro de escala;
- μ – parâmetro de posição;
- y – variável reduzida;

Segundo o autor, os parâmetros α e μ são calculados respectivamente pela média dos valores amostrais e pelo desvio padrão amostral de acordo com a equação (12) e equação (13):

$$\alpha = 1,2826/s \quad (12)$$

$$\mu = \bar{x} + 0,451.s \quad (13)$$

Onde:

\bar{x} – média amostral;

s – desvio padrão amostral;

Os parâmetros α e μ são obtidos pelo método dos momentos em que consiste em igualar os momentos amostrais aos populacionais, o resultado desta operação permite estimar os parâmetros da distribuição de probabilidade analisada (NAGHETTINI; PINTO, 2007).

A Figura 6 ilustra a Função Densidade de Probabilidade para a Distribuição de Gumbel para valores mínimos (EASYFIT, 2015).

A distribuição estatística para valores mínimos normalmente possui assimetria negativa (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

A probabilidade de excedência representada pela equação (10) pode ser relacionada com o período de retorno, já que para as vazões mínimas o período de retorno é o inverso da probabilidade de não-excedência (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

O inverso da probabilidade de não-excedência é dada pela equação (14) (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016).

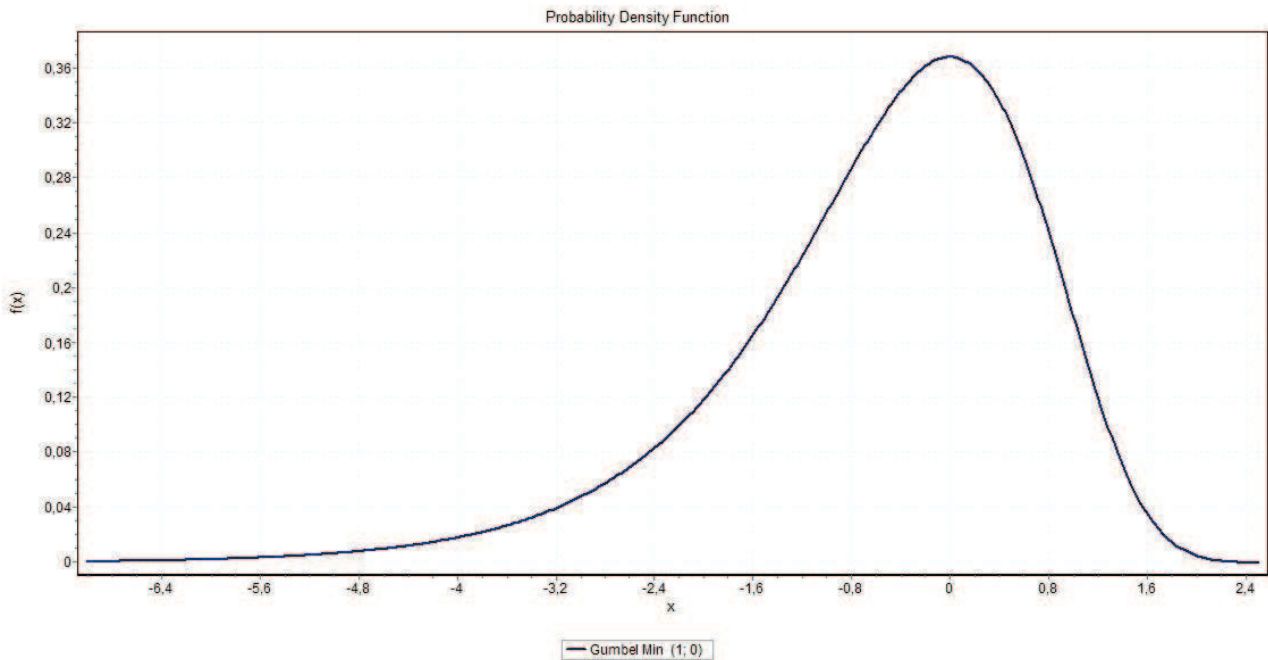
$$F(x) = 1 - \frac{1}{TR} \quad (14)$$

Onde:

$F(x)$ – inverso da probabilidade de não-excedência;

TR – período de retorno ou tempo de retorno;

Figura 6 – Função Densidade de Probabilidade (Gumbel Mínimos)



Fonte: Adaptado do EasyFit (2015, tradução nossa)

A variável reduzida pode ser expressa em função do período de retorno (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016). A relação entre a variável reduzida e o período de retorno de acordo com Lanna (2001), após manipulação matemática, pode ser expressa pela equação (15).

$$x = \mu + \frac{1}{\alpha} \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (15)$$

Onde:

TR – tempo de retorno;

α – parâmetro de escala;

μ – parâmetro de posição;

x – vazão mínima para qualquer período de retorno.

2.8.5 Distribuição Log-Pearson Tipo III

Mediante o fator de frequência, Kite (1977 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007) calcula-se o valor dos quantis da distribuição Log-Pearson tipo III pela equação (16):

$$Y_T = \ln x_T = \bar{y} + k_T \sigma_Y \quad (16)$$

Onde:

x_T – estimativa do quantil associado ao tempo de retorno T;

\bar{y} – média dos logaritmos neperianos de X;

σ_y – desvio padrão dos logartimos de X;

k_T – fator de frequência (em função do coeficiente de assimetria e tempo de retorno).

O fator de frequência presente na equação (16), pode ser obtido segundo Kite (1977 *apud* NAGHETTINI; PINTO, 2007) pela tabela – Apêndice F - elaborada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS (USGS, 2016).

A distribuição Log-Pearson Tipo III possui 3 parâmetros, chamados de localização (τ), forma (α) e escala (β) de acordo com o boletim 17C (USGS, 2018, tradução nossa).

Os valores de α , β , e τ são calculados pelas equações (17), (18) e (19), respectivamente.

$$\alpha = \frac{4}{\gamma^2} \quad (17)$$

$$\beta = \text{sgn}(\gamma) * \frac{\sigma}{\sqrt{\alpha}} \quad (18)$$

$$\tau = \mu - \alpha * \beta \quad (19)$$

Onde:

μ – média;

σ – desvio padrão;

γ – coeficiente de assimetria.

O coeficiente de assimetria é calculado com a equação (20).

$$\gamma = \frac{n * \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3}{(n - 1)(n - 2)\sigma^3} \quad (20)$$

Onde:

μ – média;

σ – desvio padrão;

2.8.6 Distribuição Log-Normal

A distribuição Normal é considerada a distribuição de probabilidades mais importante, uma vez que sua utilização permite modelar diversos fenômenos da natureza (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2008).

A função densidade de probabilidade da distribuição normal é expressa pela equação (21):

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, -\infty < x < +\infty \quad (21)$$

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (22)$$

Onde:

μ – média;

σ – desvio padrão.

De acordo com Naghettini e Pinto (2007), é possível provar que o logaritmo de uma variável faz parte de uma distribuição normal utilizando a propriedade da soma de logaritmos.

A variável normal padronizada \mathbf{z} , na distribuição log-normal corresponde a uma probabilidade de excedência, expressa pela equação (22) e possui o mesmo valor do fator de frequência k_T (MENDES, 2007). A variável normal padronizada \mathbf{z} , segundo Mendes (2007) também pode ser determinada através de uma variável intermediária \mathbf{w} expressa pela equação (23).

$$z = w - \frac{2,515517 + 0,802853w + 0,010328w^2}{1 + 1,432788w + 0,189269w^2 + 0,001308w^3} \quad (23)$$

Onde:

w – variável intermediária.

Já a variável intermediária w pode ser calculada pela equação (24):

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)} \quad (24)$$

Onde:

p – inverso do tempo de retorno TR .

A probabilidade de excedência para vazões mínimas é o inverso da probabilidade de não excedência (SILVEIRA ALL; SILVEIRA GL, 2016), logo a equação (24) pode ser representada pela equação (25) expressa por:

$$w = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{\left(1 - \frac{1}{TR}\right)^2}\right)} \quad (25)$$

Onde:

w – variável intermediária.

2.8.7 Teste de Aderência

O teste de aderência é aplicado para verificar se os dados de uma amostra experimental se comportam de acordo com uma determinada distribuição teórica (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2008). De acordo com os autores os testes de aderência podem ser paramétricos ou não paramétricos e a utilização de cada tipo de teste está vinculado a suposições necessárias acerca dos dados para aplicação.

A utilização de teste não paramétrico como o teste de Kolmogorov-Smirnov permite que os dados sejam condicionados a suposições menos rígidas em relação a

algum tipo de teste paramétrico e possui uma aplicação mais geral (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2008).

2.8.8 Teste de Kolmogorov-Smirnov

Conforme Barbetta, Reis e Bornia (2008), a aplicação do teste de Kolmogorov-Smirnov é uma alternativa mais poderosa para verificar o ajuste de um conjunto de dados para uma determinada distribuição de probabilidade (contínua ou discreta).

O ponto de partida deste teste de aderência consiste na verificação da diferença absoluta máxima **D**. A diferença absoluta máxima **D** é distância entre os valores calculados pela distribuição acumulada teórica **F(x)** e a empírica **S(x)**. Após se calcular a diferença absoluta **D**, se faz a comparação do valor **D** com um valor limite tabelado em função do tamanho **n** da amostra e do nível de significância **α** (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2008).

Se a diferença absoluta máxima **D** for maior ou igual ao valor tabelado, não há aderência à distribuição especificada, caso contrário, há aderência à distribuição especificada (BARBETTA; REIS; BORNIA, 2008).

A estatística de teste **D**, segundo Barbetta, Reis e Bornia é calculada conforme a equação (26):

$$d = \max_i \{|F(x_i) - S(x_i)|, |F(x_i) - S(x_{i-1})|\} \quad (26)$$

Onde:

d – distância absoluta máxima (valor de D para a amostra em análise);

$F(x)$ – distribuição acumulada teórica;

$S(x)$ – distribuição acumulada empírica.

Com o valor da distância absoluta máxima **d** calculado, compara-se o valor **d** com um valor tabelado – Apêndice E – **d_c**, de acordo com o nível de significância **α** e do tamanho da amostra **n**. Segundo Barbetta, Reis e Bornia (2008), se o valor **d** for menor que o valor **d_c** então há aderência à distribuição especificada, caso o valor de **d_c** for maior ou igual a **d_c** logo não há aderência à distribuição especificada.

2.9 PROGRAMAS COMPUTACIONAIS

2.9.1 *EasyFit*

A análise dos dados hidrológicos envolve uma base de análise estatística e existem inúmeros produtos no mercado que permitem analisar os dados hidrológicos com mais agilidade e praticidade.

O *software EasyFit* (MATHWAVE, 2017, tradução nossa) permite ajustar automaticamente ou manualmente uma série de distribuições de probabilidades para um banco de dados e ainda selecionar o melhor modelo de distribuição em segundos. O *software* foi desenvolvido pela empresa *MathWave Technologies* exclusivamente para esta funcionalidade e pode ser operado de forma individual ou como uma extensão do *Microsoft Excel*.

O *EasyFit* possui uma interface intuitiva e de fácil utilização, tornando o trabalho do usuário mais produtivo e eficiente. O *software* possui uma interface gráfica que permite o usuário criar os projetos baseados em duas categorias: análise dos resultados e tabela de dados. A interface análise dos resultados permite ao usuário selecionar as distribuições de probabilidade desejadas e gerar os resultados, já a tabela de dados funciona como uma entrada dos dados no *software*. O programa permite também ajustar os parâmetros das distribuições de probabilidades manualmente.

Há como analisar uma base de dados com variáveis contínuas ou discretas e ajustá-las para cinquenta e cinco distribuições de probabilidades, gerar diversos gráficos interativos (histogramas, função densidade de probabilidade e etc.) e ainda comparar as diferentes distribuições obtidas.

2.9.2 Sistema de Informação Geográfica e QGIS

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica – SIG abrange diversas áreas da ciências: exatas, sociais e naturais, permitindo que os pesquisadores tenham um método confiável e eficiente para coleta, visualização e análise de dados espaciais, sendo assim o SIG permite determinar diversos parâmetros que podem ser utilizados nos estudos hidrológicos (GERICKE; PLESSIS, 2012, tradução nossa).

O Modelo de Elevação Digital – DEM e um conjunto de dados espaciais compõe os conjuntos de dados necessários para análise de parâmetros hidrológicos. O DEM, que nada mais é que a representação da superfície terrestre em três dimensões criado através de dados de elevação do terreno, contém informações de rastreamento da área da bacia analisada e suas adjacências enquanto os dados espaciais possuem informações espaciais independentes das fontes do DEM (GERICKE; PLESSIS, 2012, tradução nossa).

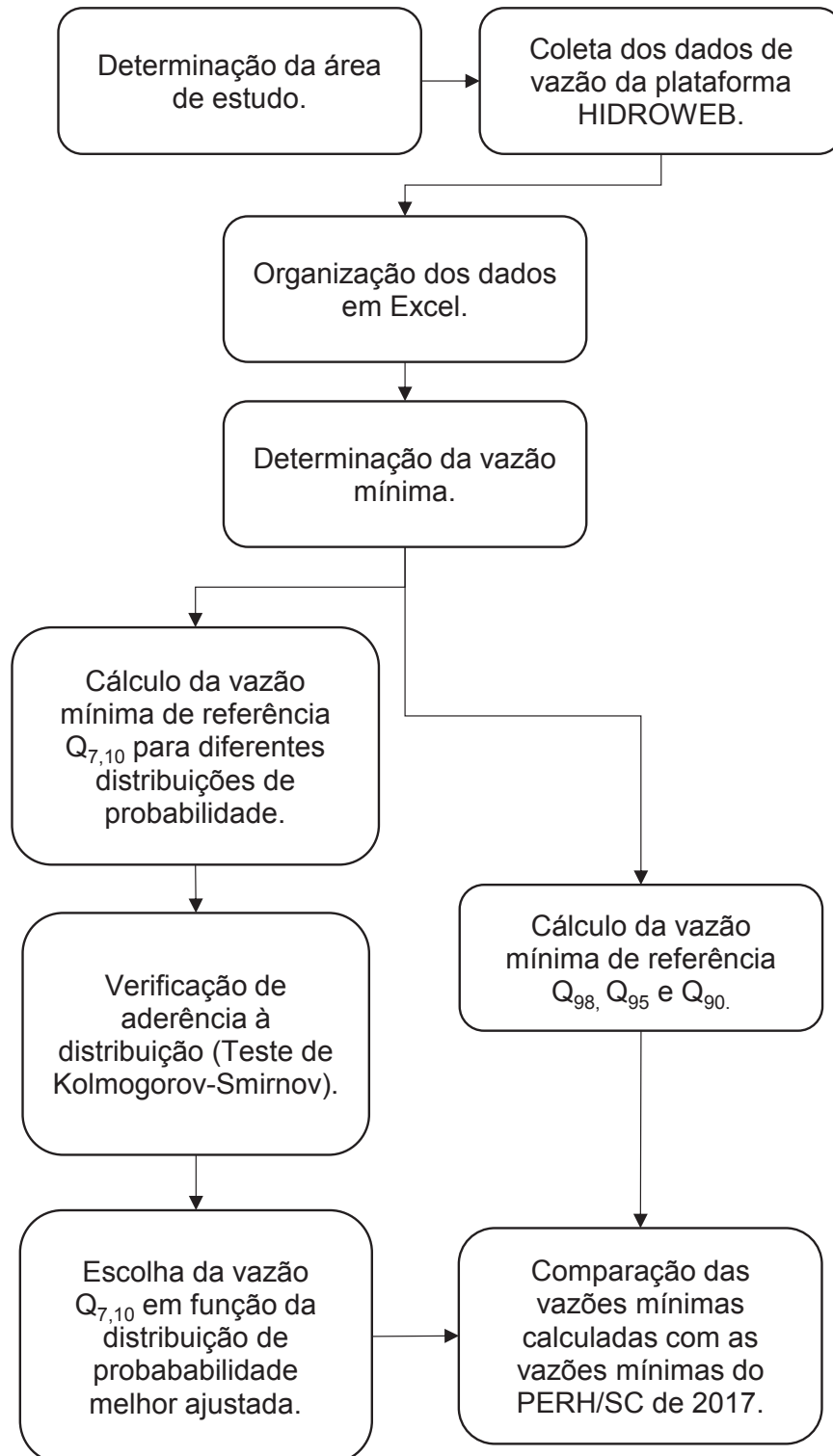
A utilização do DEM permite analisar completamente os parâmetros de uma bacia hidrográfica como por exemplo: área de drenagem da bacia hidrográfica, através do gerenciamento dos dados em um *software* que permita relacionar essas informações (GERICKE; PLESSIS, 2012, tradução nossa).

O QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, [s.d], tradução nossa) é um Sistema de Informações Geográficas – SIG de código aberto utilizado para inúmeras aplicações, possibilitando criar, editar, visualizar, analisar e publicar informações geoespaciais. Este *software* é utilizado neste trabalho para informar as áreas de drenagem na foz da BHRC e na estação Pirabeiraba.

3 METODOLOGIA

Apresento o fluxograma da metodologia - Figura 7 - estabelecida para este trabalho.

Figura 7 – Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão – BHRC localizada na região nordeste do estado de Santa Catarina que por sua vez está localizado na região Sul do Brasil de acordo com Wolff (2017). Segundo o CCJ (2017) a BHRC está inserida aproximadamente 80% no município de Joinville-SC e 20% no município de Garuva. Ao localizar a cidade de Joinville dentro do território de Santa Catarina, Pereira (2005, p. 32) reproduz:

Joinville está localizada no nordeste catarinense, em terrenos cristalinos da Serra do Mar, tendo grandes altitudes (com montanhas alcançando até 1.325 metros) a oeste, e chegando ao nível do mar a leste, onde há uma área de sedimentação costeira recortada por manguezais.

O mapa político conforme a Figura 8, ilustra a localização da BHRC dentro dos limites dos municípios de Joinville e Garuva, segundo Gonçalves, Zanotelli e Oliveira (2006) está compreendida entre as coordenadas UTM 680000/7122290 e 724010/7091990. De acordo com os mesmos autores a BHRC está inserida em uma área de 396km² dentro do município de Joinville e 96km² no município de Garuva, totalizando uma área de drenagem de 492km².

Com os dados geográficos disponibilizados pelo sistema de informações geográficas da EPAGRI (2005) em conjunto com os dados hidrográficos da Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina (SDS, [s.d.]), foram determinadas através do *software* QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, [s.d.]) a área de drenagem para a foz da BHRC para comparação com os dados disponibilizados pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (2017). O *software* QGIS também foi utilizado para obtenção da área de contribuição para a estação da qual foram retirados os dados.

De acordo com os dados obtidos nos Estudos para Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (SDS, 2008) a BHRC possui quatro estações fluviométricas denominadas Primeiro Salto do Cubatão, Segundo Salto do Cubatão, Quiriri e Pirabeiraba. A relação das estações fluviométricas disponíveis e suas características estão dispostos na Tabela 3.

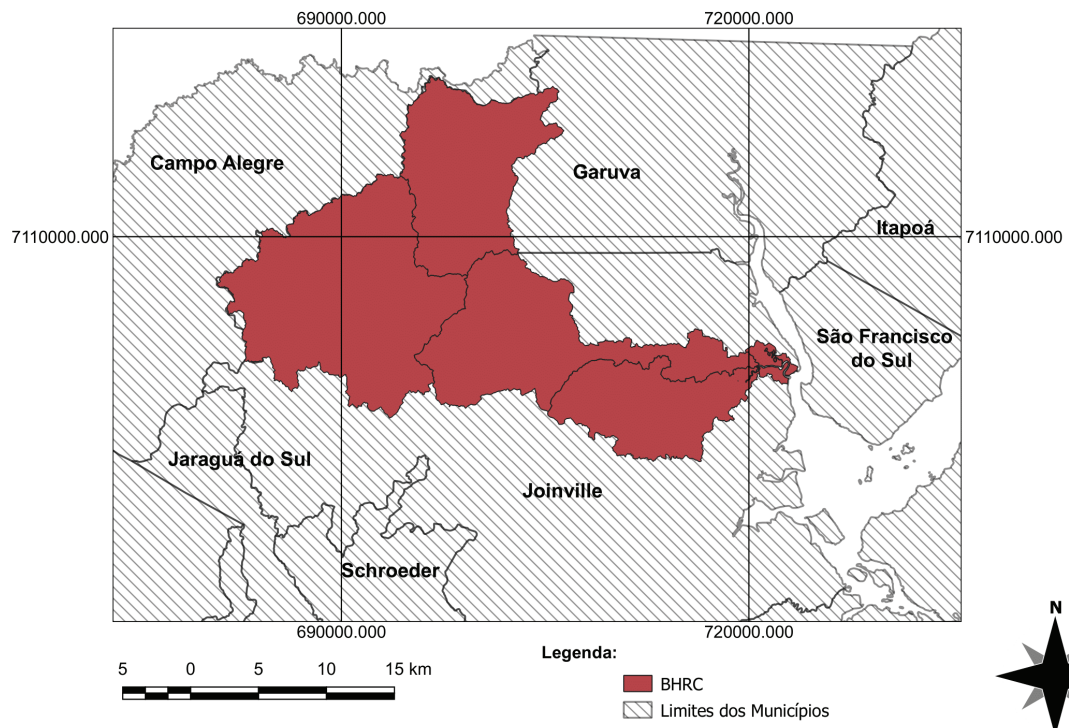
Tabela 3 – Estações Fluviométricas da BHRC.

Código	Nome	Área de Drenagem (km ²)	Responsável	Operadora	Medições	
					Início	Fim
82261001	Primeiro Salto do Cubatão	124	ANA	EPAGRI	01/10/1952	01/12/2004
82260000	Segundo Salto do Cubatão	50	CELESC	DESATIVADA	01/11/1949	01/11/1972
82270000	Quiriri	182	ANA	DESATIVADA	01/11/1955	01/08/1967
82270050	Pirabeiraba	317	ANA	EPAGRI	12/10/1985	31/12/2014

Fonte: Adaptado de SDS (2008).

A estação fluviométrica Primeiro Salto do Cubatão possui o maior extensão temporal de registros diários de vazão com uma série de aproximadamente 52 anos de observações, já a estação fluviométrica Pirabeiraba possui a segunda maior extensão de dados diários de vazão com uma série de aproximadamente 30 anos de observações. As estações fluviométricas Segundo Salto do Cubatão e Quiriri têm suas observações diárias interrompidas nos anos de 1972 e 1967, respectivamente. A série de dados da estação Pirabeiraba é a mais atualizada dentre as estações listadas na Tabela 3, com registros diários recentes atualizados até o ano de 2014.

Figura 8 – Mapa político da BHRC



Fonte: O autor

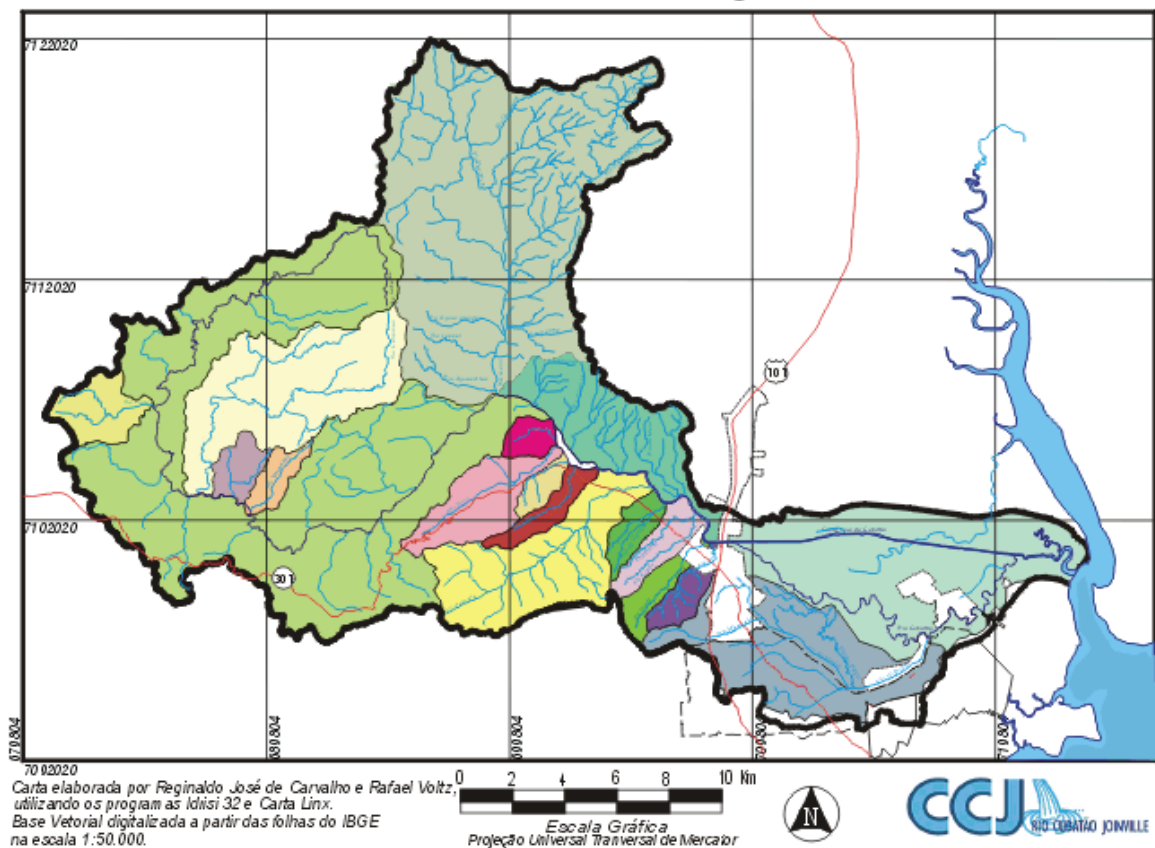
A Lei Estadual nº 10.949, de 09 de Novembro de 1998, dividiu Santa Catarina em dez regiões hidrográficas (SANTA CATARINA, 1998), estabelecendo a Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão na Região Hidrográfica 6 de Santa Catarina - a Baixada Norte – que inclui as bacia do Rio Cubatão e do Rio Itapocu.

A BHRC, de acordo com Gonçalves, Zanotelli e Oliveira (2006) é composta por micro bacias denominadas: Tigre, Campinas, Vermelho, Quiriri, Seco, Isaak, Prata, Fleith, Kunde, Lindo, Alandf, Tromba, do Braço e Mississipi. A Figura 9 ilustra estas micobacias.

Segundo Gonçalves, Zanotelli e Oliveira (2006, p.9) a Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão (BHRC) “é responsável por cerca de 70% do abastecimento de água de Joinville e de parte do município de Araquari”.

Figura 9 - Sub-bacias da BHRC

Carta das Subbacias da Bacia hidrográfica do rio Cubatão



A extensão do curso d’água principal da bacia possui 62,2 km até a barragem (Figura 10) próximo a BR-101 em Pirabeiraba, a partir deste local o rio é dividido entre o curso natural (Figura 11) e o canal retificado (Figura 12 e 13). O curso natural do Rio Cubatão possui uma extensão de 27,4 km até a foz e o canal retificado possui

uma extensão de 15,9 km até a foz. A nascente do Rio Cubatão está localizada na Serra Queimada, cota altimetria de 1169 metros e a foz localizada no canal do Palmital, cota de zero metro, ambas no município de Joinville (CCJ, 2017).

A fim de analisar a vazão de referência que compõe o índice de disponibilidade hídrica para o Rio Cubatão, foram calculadas as vazões de referência para uma seção do curso d'água principal do rio Cubatão levando-se em conta a vazão de referência da legislação catarinense (Q_{98}) e a vazão de referência ($Q_{7,10}$) estabelecida no Plano Diretor de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão (GONÇALVES *et al.*, 2007). Também foram calculadas as vazões de permanência Q_{95} e Q_{90} .

Figura 10– Barragem do Rio Cubatão em Pirabeiraba



Fonte: O autor.

Figura 11 – Curso natural do Rio Cubatão



Fonte: O autor.

Figura 12 – Canal retificado do Rio Cubatão.



Fonte: O autor

Figura 13– Canal retificado do Rio Cubatão



Fonte: O autor.

Foram analisados e comparados ainda os valores de vazão de referência calculados neste trabalho com os valores disponibilizados pelos documentos oficiais do Estado de Santa Catarina, disponibilizados pela Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Santa Catarina: *Bacias Hidrográficas de Santa Catarina - Diagnóstico Geral (SDS, 1997)*; *Estudos para Elaboração do Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina (2008)*; *Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (SDS, 2017)* e o documento disponibilizado pela Secretaria de Estado da Agricultura e Desenvolvimento Rural de Santa Catarina: *Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o estado de Santa Catarina e apoio a sua implementação (SADR, 2006b)*.

A concessão da outorga de direito de uso de recursos hídricos para captação de água superficial na legislação do Estado de Santa Catarina, segundo a Portaria nº 36 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico e Sustentável (SANTA CATARINA, 2010) alterada pela Portaria SDS nº 051, de 02.10.2008, de 29 de julho de 2008 define a vazão de referência para concessão da outorga de uso no Art. 2º, inc. II como sendo cinquenta por cento da vazão de permanência Q_{98} . Isto é, para a legislação estadual, enquanto o limite máximo de derivações consuntivas em todas as seções de controle de uma bacia hidrográfica for igual ou inferior a 50% da vazão de

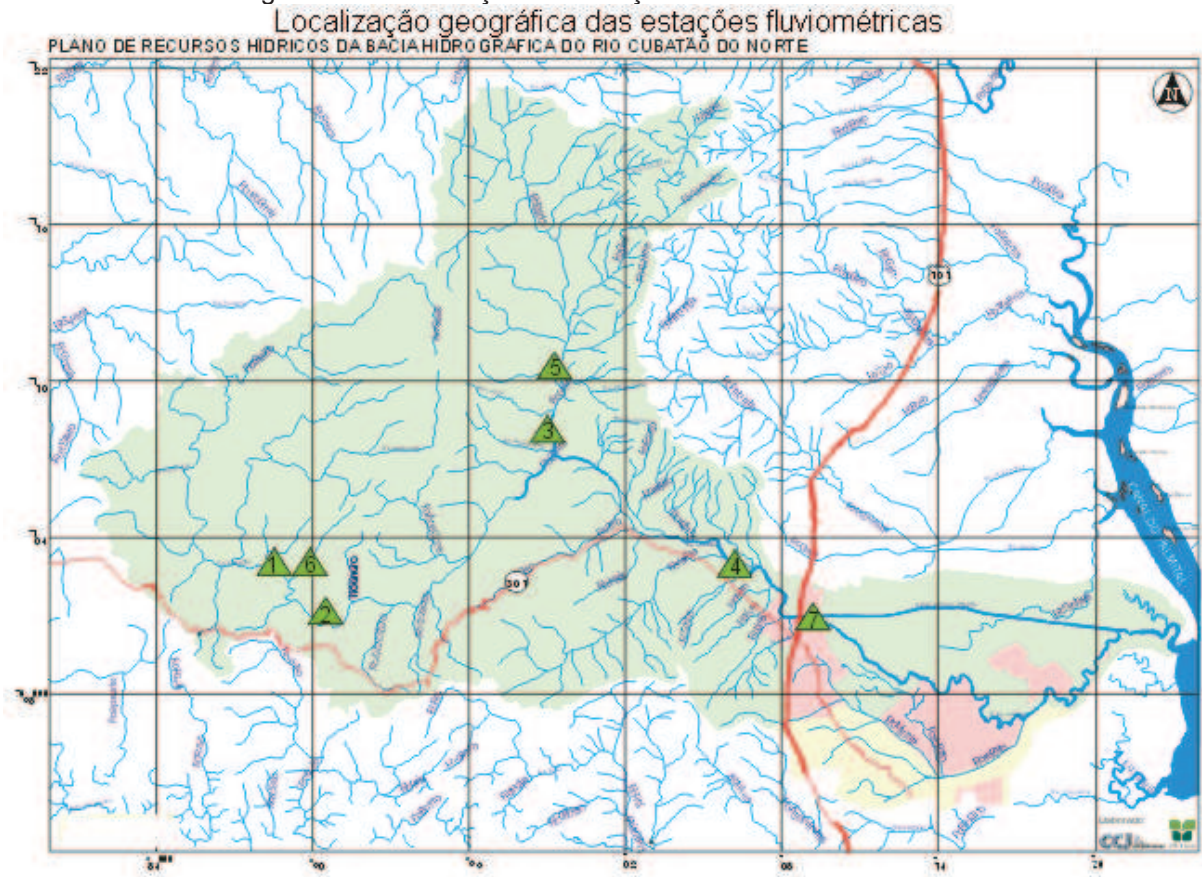
referência Q_{98} , as outorgas poderão ser emitidas pela SDS, baseadas na inexistência de conflito quantitativo para uso consuntivo da água. Já para o Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira a vazão de referência é a $Q_{7,10}$ aprovado na Elaboração do Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão (GONÇALVES *et al.*, 2007).

3.2 COLETA E ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Com a série histórica dos dados fluviométricos da estação Pirabeiraba, código 82270050 localizada no Rio Cubatão, com dados disponíveis de outubro de 1985 a dezembro de 2014, município de Joinville, determinou-se a vazão $Q_{7,10}$ e as vazões de permanência Q_{98} , Q_{95} , e Q_{90} . A obtenção dos dados foi feita mediante o auxílio da plataforma HIDROWEB, disponibilizada pela ANA. Observa-se que os dados de vazão disponibilizados já estão consistidos de acordo com as informações contidas nas planilhas de dados obtidas.

De acordo com o Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte (CCJ, 2017) a estação Pirabeiraba (82270050), representado como ponto 4 na Figura 14, está localizada junto à Estação de Tratamento Água – ETA Cubatão, na planície de transição entre o médio e o baixo curso do Rio Cubatão, com características de meandramento e menor energia do fluxo hídrico. Nesta região, de acordo com o CCJ (2017) há uma derivação de $1,5\text{m}^3/\text{s}$ para abastecer os municípios de Joinville-SC e parte do município de Araquari-SC

Figura 14 – Localização das estações fluviométricas na BHRC

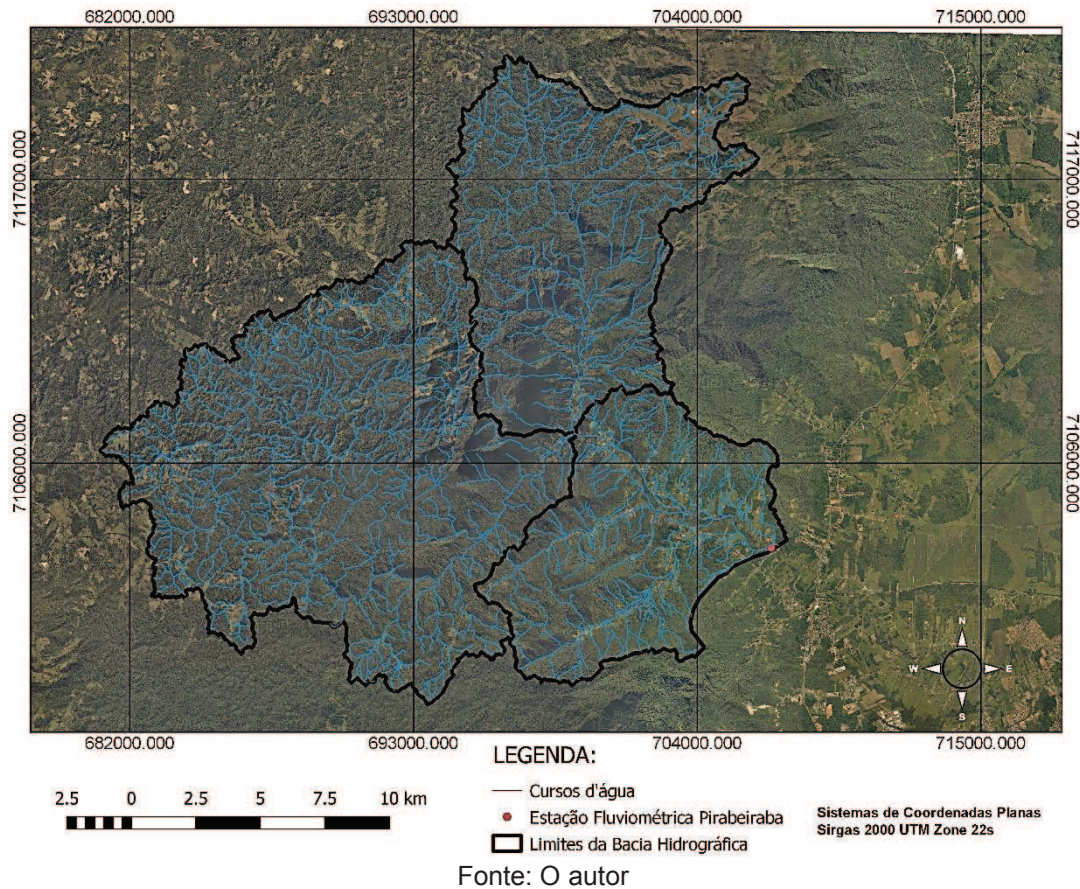


Fonte: Adaptado de CCJ (2017).

A Figura 15 apresenta a área de drenagem da estação Pirabeiraba (82270050) a montante da estação.

Na plataforma HIDROWEB foi feita a busca da série histórica dos dados de vazão através da plataforma e o *download* do inventário da estação fluviométrica. A importação dos dados, a visualização e a análise foram realizadas no *software* EXCEL, o qual forneceu os dados de vazão diária no formato em que estão tabulados no Apêndice A. Os dados de vazão diária estavam organizados em 31 colunas, representando os dias, e as linhas representando os meses. Os dados foram então reorganizados para se efetuar a inferência estatística.

Figura 15 – Área de Drenagem a montante da Estação Fluviométrica Pirabeiraba.



Deste modo reorganizou-se os dados diários de vazão em 31 colunas de vazão em uma linha por observação. Deste modo, todos os dados de vazões ficaram dispostos individualmente em cada linha. Destaca-se a exclusão das linhas de vazão dos dias 30 e 31 do mês de fevereiro para que não fossem computados os dados não preenchidos de vazão.

De acordo com o HIDROWEB (2017) todos os dados de vazões da estação Pirabeiraba já estavam consistidos, deste modo não foram feitos preenchimentos de falhas ou extensão de dados.

3.3 CÁLCULO DA VAZÃO MÍNIMA $Q_{7,10}$

Após a organização dos dados, foi efetuado o procedimento referente ao cálculo da vazão mínima $Q_{7,10}$. No cálculo da vazão média histórica de 7 dias com intervalo de 10 anos de recorrência ($Q_{7,10}$), de acordo com Mendes (2007), deve-se utilizar dados registrados de vazões diárias durante um período de no mínimo 30 anos.

A fim de não comprometer a representatividade da amostra, o autor também afirma ser desejável não haver falhas na série histórica correspondente aos meses de estiagem. Os meses de estiagem para a BHRC, de acordo com os estudos efetuados pelo CCJ (2017), são os meses de inverno: junho, julho e agosto que representam um valor equivalente a 16,4% da chuva precipitada.

A série histórica contendo os dados de vazões diárias, foi submetida ao cálculo da média móvel de sete dias consecutivos, resultando em 365 ou 366 valores de vazões médias diárias de sete dias consecutivos (Q_7), para cada ano da série. De acordo com Laaha *et al.* (2013, p.163, tradução nossa) “a média móvel de sete dias consecutivos é geralmente usada para remover flutuações no hidrograma causados por erros de medições ou erros antropogênicos”. Obteve-se daí, uma nova série de dados com 365 ou 366 valores de Q_7 para cada ano da série histórica estabelecida.

Para cada ano da nova série valores de Q_7 foi selecionado o menor valor de Q_7 que formou uma nova série com n elementos com valores mínimos de Q_7 (mín Q_7); o número coberto pela série inicial representa os n elementos.

Com os valores de vazões mínimos de Q_7 (mín Q_7) selecionados, foram obtidos os valores da vazão média mínima, conforme a equação (27), para um período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$) de acordo com as distribuições de probabilidades: Gumbel, Log-Normal e Log-Pearson tipo III.

$$Q_{7,T} = \overline{Q_{7m}} - S_q * K_T \quad (27)$$

Onde:

$Q_{7,T}$ - vazão mínima de sete dias consecutivos correspondente a um período de retorno TR ;

$\overline{Q_{7m}}$ – média das vazões mínimas Q_{7m} ;

S_q – desvio padrão amostral da série de vazões Q_{7m} ;

K_T – fator de frequência.

Neste trabalho, o tempo de retorno foi calculado conforme a equação (28) (MENDES, 2007) para o cálculo do coeficiente de determinação (R^2).

$$TR = \frac{n + 1}{m} \quad (28)$$

Onde:

TR – tempo de retorno;

n – número de elementos da amostra;

m – colocação do valor na amostra classificado em ordem crescente.

Silva *et al.* (2015) sugerem adotar um critério para escolha da melhor distribuição de probabilidades com base na amplitude do intervalo de confiança com 95% de probabilidade e no erro padrão. Mendes (2007), entretanto, vê a adequação do ajuste probabilístico através do método visual, ao comparar os pontos observados e a curva ajustada. Para este trabalho, foram comparados os valores observados e ajustados e adotado o teste não-paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para determinar a melhor distribuição de probabilidades para a série de vazões mínimas.

3.4 VAZÃO DE PERMANÊNCIA (Q_{98})

Para o cálculo da vazão de permanência, necessita-se também de uma série de vazões com registros diários (MENDES, 2007). A ocorrência mínima de falhas na série histórica é desejável segundo o autor.

“Os registros de vazão diária, classificados em ordem decrescente, irão formar a curva de duração ou curva de permanência das vazões do posto fluviométrico considerado” (MENDES, 2007, p.23).

Cada permanência de vazão é expressa pela equação (29) (LANNA, 2014):

$$P = \frac{m}{n} \quad (29)$$

Onde:

P - permanência de cada vazão;

m – posição do elemento amostral considerado na série;

n – número de elementos da amostra constituído pelo registro de vazão diária.

Após a realização deste procedimento, utilizando-se de dados diários, obteve-se as vazões de permanência Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} junto à curva de permanência.

3.5 TESTE DE KOLMOGOROV-SMIRNOV

A amostra de dados foi submetida ao teste de Kolmogorov-Smirnov com o auxílio do *software* Easyfit (2015, tradução nossa). Para a aplicação do teste de aderência, o *software* calcula a maior diferença vertical entre os valores da função de distribuição acumulada teórica e empírica.

O cálculo do valor estatístico D executado pelo *software* é dado pela equação (30).

$$D = \max_{1 \leq i \leq n} \left(F(x_i) - \frac{i-1}{n}, \frac{i}{n} - F(x_i) \right) \quad (30)$$

De acordo com o *software* Easyfit (2015, tradução nossa) as hipóteses nulas e alternativas para o teste de aderência são:

H_0 – os dados seguem a distribuição especificada;

H_A – os dados não seguem a distribuição especificada.

O *software* rejeita a forma distribucional para um nível de significância α , se o teste estatístico D for maior do que o valor crítico obtido de uma tabela – Apêndice E. Os valores fixos de significância α (0.01, 0.05 etc.) são utilizados geralmente para avaliar a hipótese nula H_0 em vários níveis de significância (EASYFIT, 2015, tradução nossa).

De acordo com o *software* Easyfit (2015) para a maioria das aplicações costuma-se utilizar a o valor de 0,05 para o nível de significância. Segundo Barbeta o nível de significância é a probabilidade tolerável de incorrer no erro de rejeitar a H_0 , quando H_0 , é verdadeira, sendo assim, se utiliza para confirmar ou refutar alguma hipótese ainda na fase de planejamento de uma pesquisa um nível de significância de 5%. Posto isto, será utilizado o nível de significância de 5% neste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DA VAZÃO $Q_{7,10}$

A seleção dos dados fluviométricos da estação Pirabeiraba, código 82270050 operada pela EPAGRI-SC são leituras diárias de 12/10/1985 a 31/12/2014, cobrindo aproximadamente 30 anos. O período em dias para os dados analisados é de 10.673 dias sem falhas de preenchimentos, conforme a extração de dados do site da ANA.

A amostra das vazões mínimas foi obtida com o cálculo da média-móvel de sete dias, conforme a equação (9), e posterior seleção dos valores mínimos de vazões Q_7 para cada ano da série. A Tabela 4 contém o valor mínimo de vazão para cada ano da série, após a aplicação da média-móvel.

Tabela 4 - Série das vazões mínimas de sete dias (m^3/s) da estação Pirabeiraba

ano	Q_7	ano	Q_7	ano	Q_7	ano	Q_7	ano	Q_7
1985	5,36	1991	4,78	1997	3,75	2003	3,73	2009	3,37
1986	2,92	1992	5,06	1998	6,67	2004	5,19	2010	9,08
1987	11,38	1993	6,84	1999	3,21	2005	4,75	2011	6,57
1988	5,46	1994	8,62	2000	2,40	2006	1,10	2012	6,14
1989	5,75	1995	5,03	2001	8,41	2007	3,49	2013	7,22
1990	8,85	1996	3,66	2002	4,32	2008	4,62	2014	5,79

Fonte: O autor.

A série de valores mínimos da Tabela 3 permite extrair alguns parâmetros estatísticos básicos. Esses valores são mostrados na Tabela 5.

Tabela 5 - Parâmetros estatísticos das séries das vazões mínimas de sete dias

Estação Pirabeiraba	
Média	5,45 m^3/s
Desvio Padrão S	2,25 m^3/s
Coef. de Variação	41,37 %
Máximo	11,38 m^3/s
Mínimo	1,10 m^3/s

Fonte: O autor.

Os valores da Tabela 3.1 e Tabela 3.2, série de vazões mínimas Q_7 foram ajustados pelas distribuições de probabilidades de Gumbel, Log-Normal e Log-

Pearson Tipo III em que é possível estabelecer os valores de Q_7 de qualquer período de retorno TR.

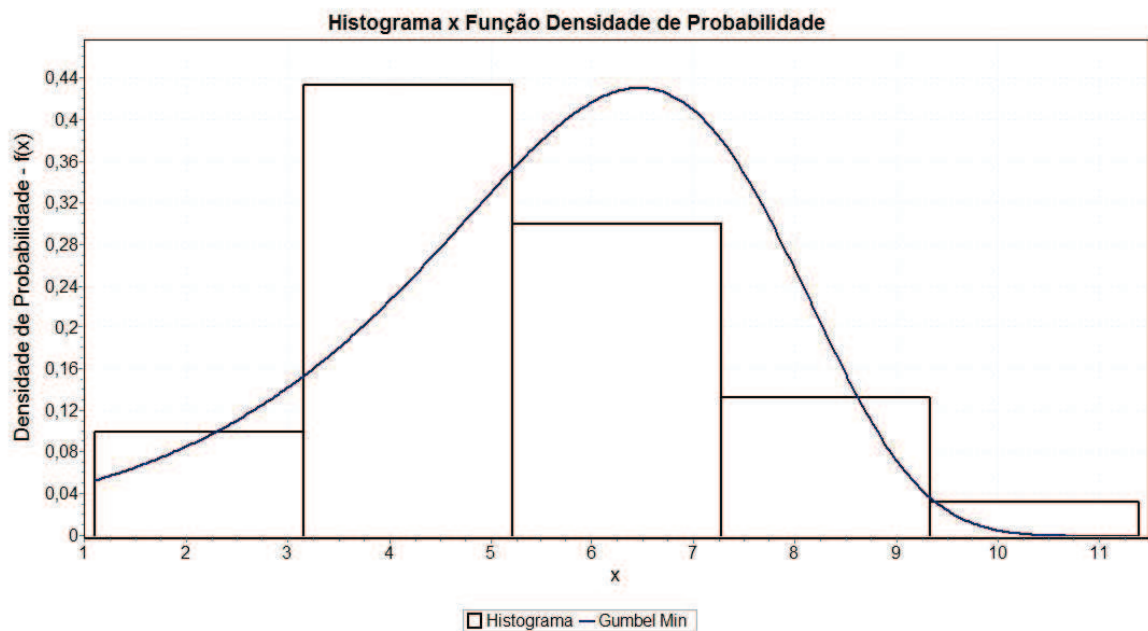
As séries de vazões mínimas Q_7 foram ajustadas às distribuições de probabilidades por meio do *software* Easyfit (2017) que também forneceu todos os parâmetros, dentre eles o teste de aderência Kolmogorov-Sminov e os parâmetros de cada distribuição.

4.1.1 Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição de Gumbel Mínimos

Com a aplicação da distribuição de Gumbel, determinaram-se os parâmetros $\mu = 6,465$ e $\sigma = 1,758$, utilizando as equações (12) e (13).

Para a distribuição de Gumbel, obteve-se o valor de $2,511 \text{ m}^3/\text{s}$ para a $Q_{7,10}$. A Figura 16 demonstra a distribuição ajustada à amostra.

Figura 16 – Ajuste dos dados para distribuição e Gumbel



Fonte: Adaptado do Easyfit (2015, tradução nossa) .

Os dados apresentaram uma boa aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov como pode ser visto na Tabela 6.

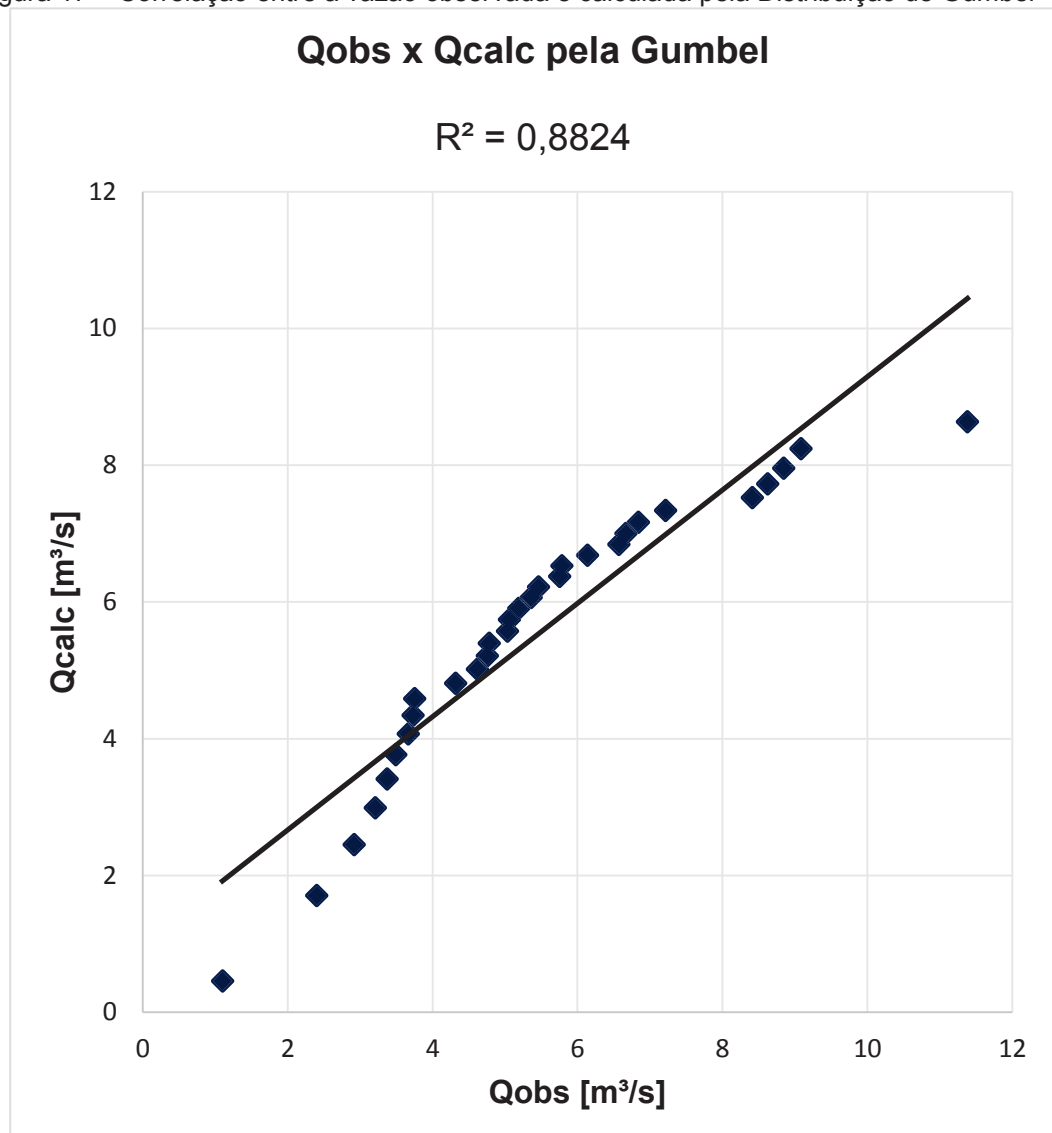
Tabela 6 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba

Kolmogorov-Smirnov					
Estatística D	0,173506				
p-valor	0,292049				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor Crítico	0,1903	0,2176	0,242	0,2702	0,2899

Fonte: Adaptado do Easyfit (2015).

O valor da estatística de teste D é menor do que o valor crítico para o nível de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, a amostra possui aderência à distribuição de Gumbel.

Figura 17 – Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição de Gumbel



Fonte: O autor.

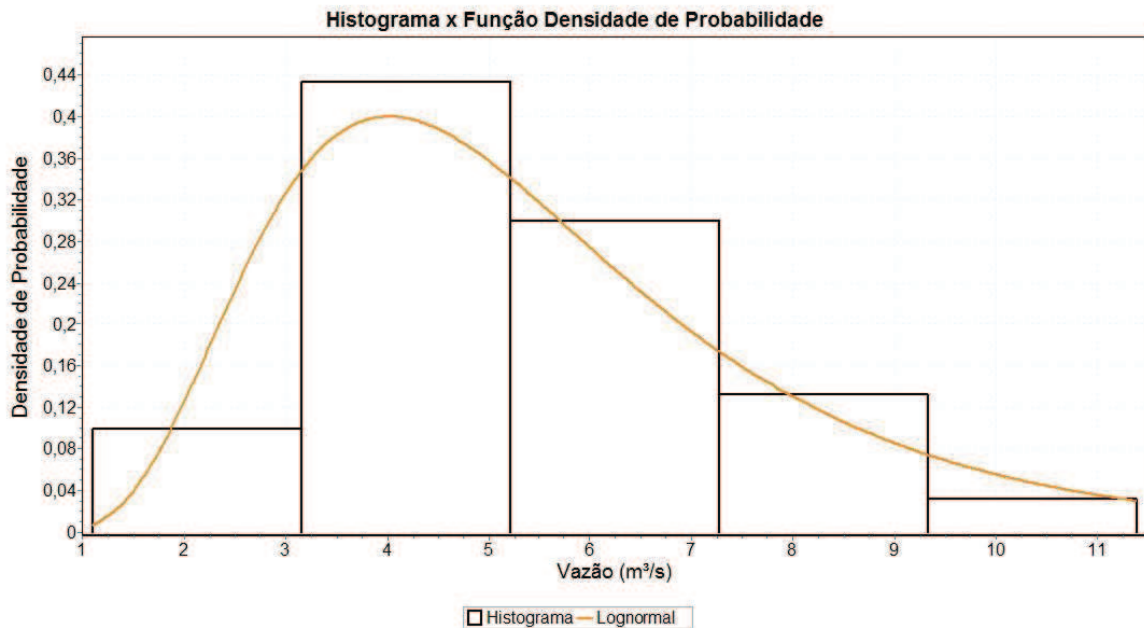
As correlações das vazões calculadas com as observadas, conforme a Figura 17, obtiveram um $R^2 = 0,8824$.

4.1.2 Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição Log-Normal

Com a aplicação da distribuição de Log-Normal, determinaram-se os parâmetros $\mu = 1,603$ e $\sigma = 0,459$ utilizando a equação (21)

Para a distribuição Log-Normal, obteve-se o valor de $2,784 \text{ m}^3/\text{s}$ para a $Q_{7,10}$. A Figura 18 demonstra a distribuição ajustada à amostra.

Figura 18 – Ajuste dos dados para distribuição Log-Normal



Fonte: Adaptado do Easyfit (2015, tradução nossa).

Os dados apresentaram uma boa aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov como pode ser visto na Tabela 7.

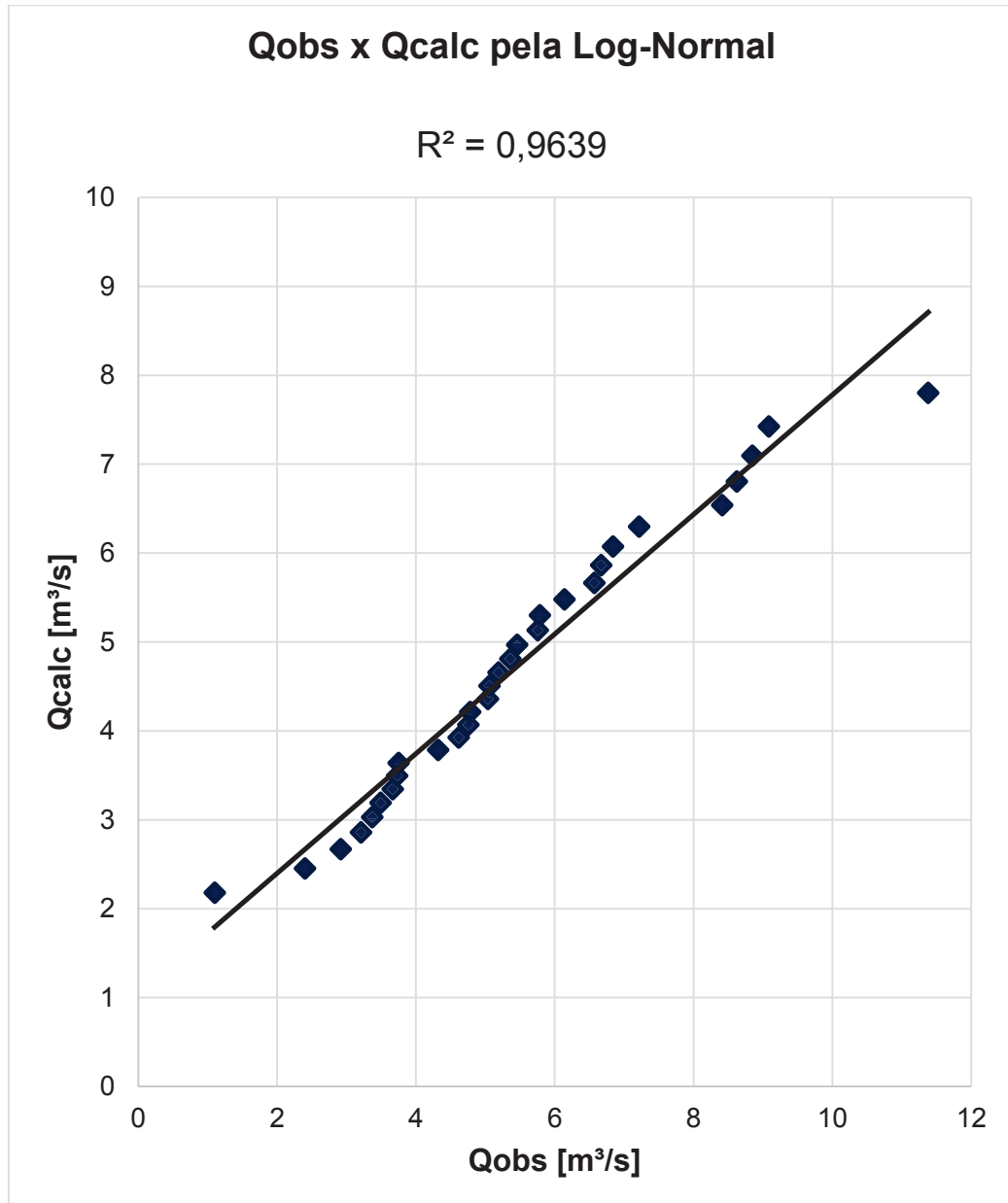
Tabela 7 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba

Kolmogorov - Smirnov					
Estatística D	0,103377				
p-valor	0,873182				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor Crítico	0,1903	0,2176	0,2417	0,2702	0,28987

Fonte: Adaptado do Easyfit (2015).

O valor da estatística de teste D é menor do que o valor crítico para o nível de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, a amostra possui aderência à distribuição Log-Normal.

Figura 19– Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição Log-Normal



Fonte: O autor.

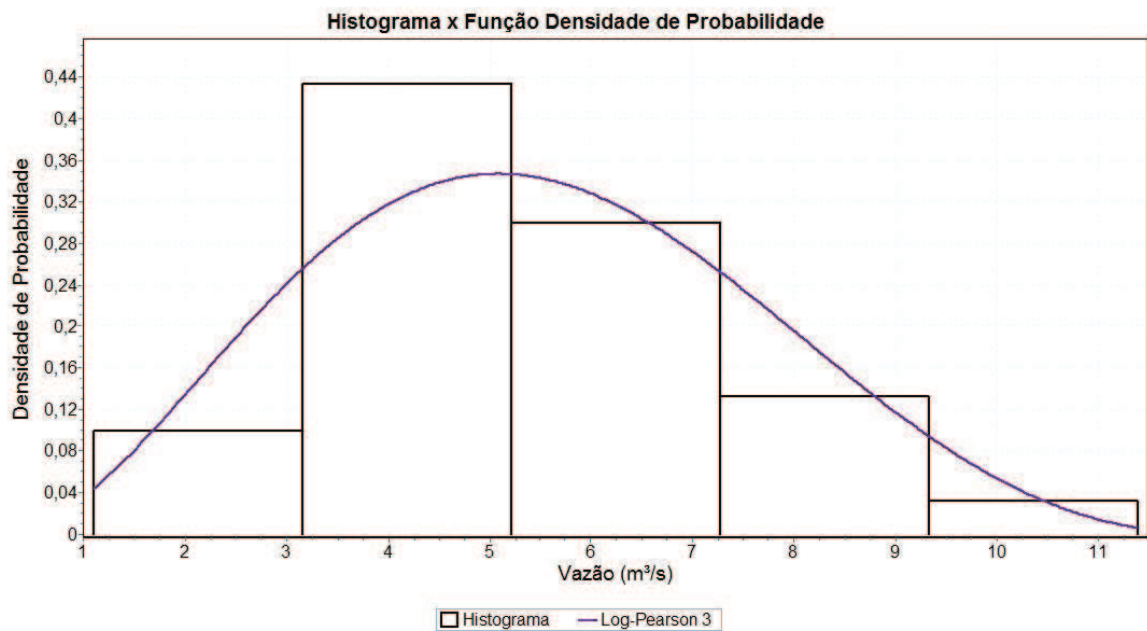
As correlação entre as vazões calculadas com as observadas, conforme a Figura 19, obtiveram um $R^2 = 0,9639$.

4.1.3 Determinação da $Q_{7,10}$ pela distribuição Log Pearson Tipo III

Com a aplicação da distribuição Log Pearson Tipo III, determinaram-se os parâmetros $\alpha = 3,912$, $\beta = -0,236$ e $\tau = 2,526$ utilizando as equações (17), (18) e (19).

Para a distribuição Log Pearson Tipo III, obteve-se o valor de $2,937 \text{ m}^3/\text{s}$ para a $Q_{7,10}$. A Figura 20 demonstra a distribuição ajustada à amostra.

Figura 20 - Ajuste dos dados para distribuição Log Pearson Tipo III



Fonte: Adaptado do EasyFit (2015, tradução nossa).

Os dados apresentaram uma boa aderência ao teste de Kolmogorov-Smirnov como pode ser visto na Tabela 8.

Tabela 8 - Teste de Kolmogorov-Smirnov para a estação Pirabeiraba

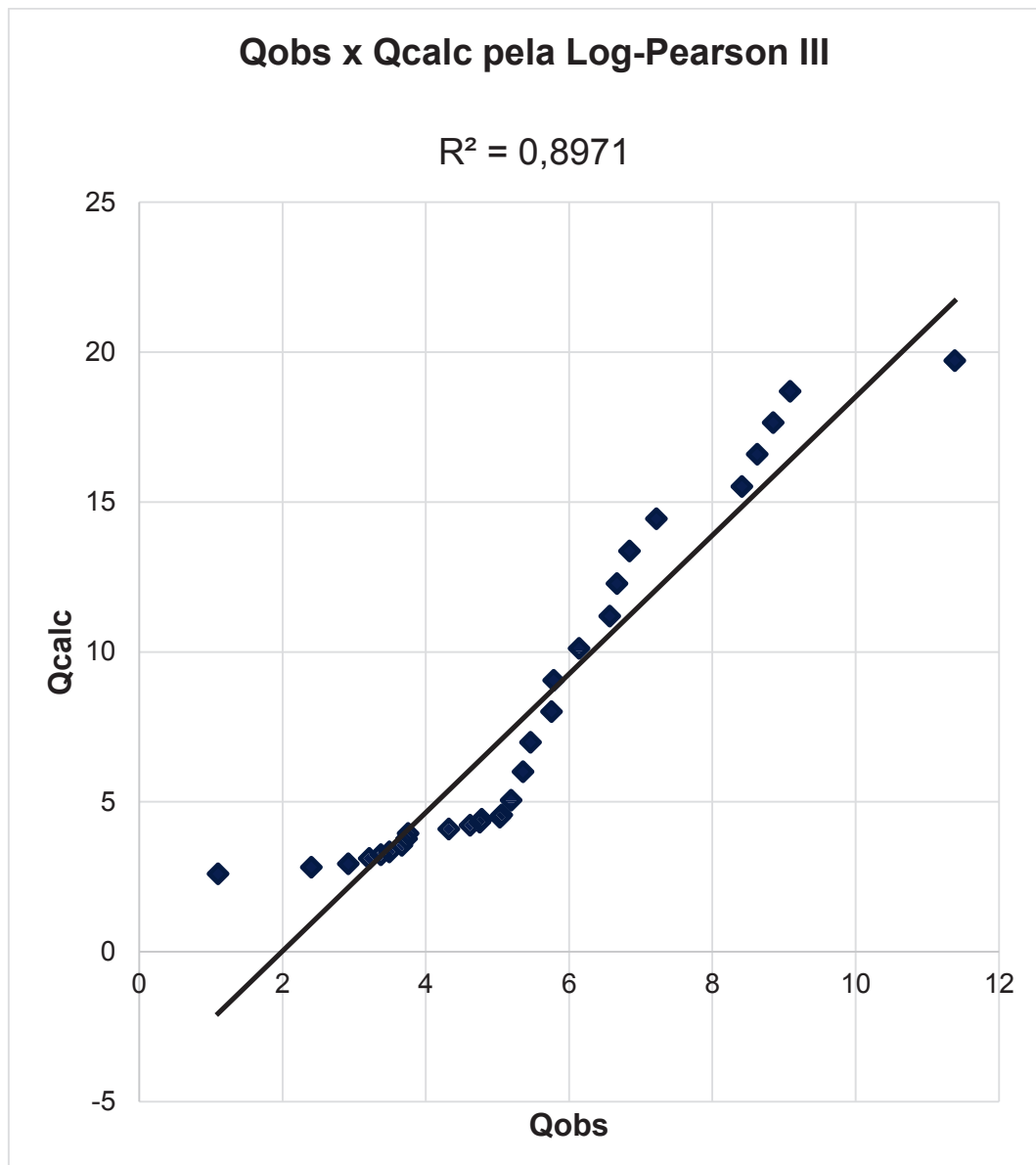
Kolmogorov - Smirnov					
Estatística D	0,097104				
p-valor	0,913932				
α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Valor Crítico	0,1903	0,2176	0,2417	0,2702	0,28987

Fonte: Adaptado do Easyfit (2015).

O valor da estatística de teste D é menor do que o valor crítico para o nível de significância $\alpha = 0,05$, ou seja, a amostra possui aderência à distribuição Log-Pearson Tipo III.

As correlações entre as vazões calculadas com as observadas, conforme a Figura 21, obtiveram um $R^2 = 0,8971$.

Figura 21 - Correlação entre a vazão observada e calculada pela Distribuição Log-Pearson Tipo III



Fonte: O autor.

Todas as distribuições de probabilidades ajustadas obtiveram um alto índice de correlação entre as vazões calculadas e as vazões observadas. Já o teste de aderência Kolmogorov-Smirov aderiu a todas as três distribuições testadas o nível de

significância de 5%. A maior correlação obtida foi para a distribuição Log-Normal, conforme a Tabela 9. Entretanto a distribuição Log-Pearson Tipo III calculou a menor distancia absoluta entre os valores ajustados pela distribuição e os valores reais de vazão mínima. Deste modo, pode-se afirmar que a distribuição Log-Pearson Tipo III foi a que mais se ajustou a série de vazões mínimas anuais.

Tabela 9 - Resumo R² e Teste Kolmogorov-Smirnov

Distribuição	R ²	Teste Kolmorov-Smirnov Estatística D
Gumbel Mínimos	0,8824	0,173506
Log-Normal	0,9639	0,103377
Log-Pearson Tipo III	0,8971	0,097104

Fonte: O autor.

4.1.4 Determinação da vazão Q₉₈ pela curva de permanência

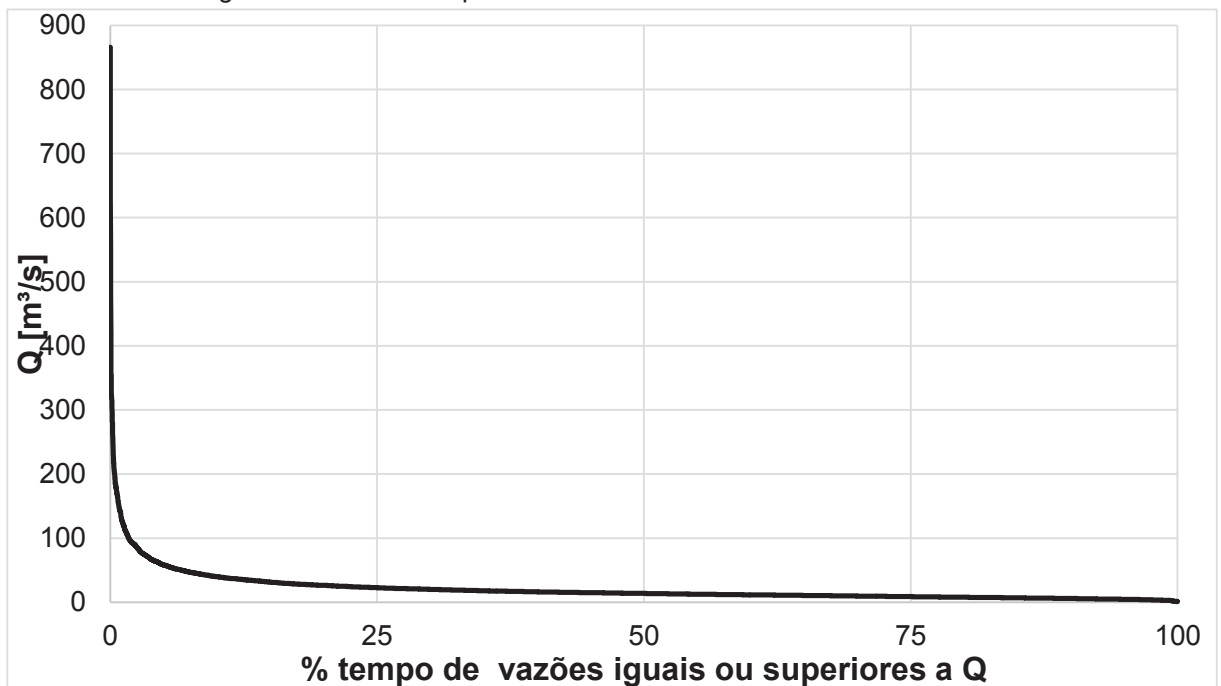
Foram determinadas as vazões Q₉₈, Q₉₅ e Q₉₀ pela curva de permanência ilustrada na Figura 22.

$$Q_{98} = 3,373 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_{95} = 4,535 \text{ m}^3/\text{s};$$

$$Q_{90} = 2,937 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Figura 22 – Curva de permanência de vazões do Rio Cubatão



Fonte: O autor.

4.2 COMPARAÇÃO ENTRE AS VAZÕES

A vazão mínima $Q_{7,10}$ utilizada como referência para as comparações neste trabalho é a vazão ajustada pela distribuição log-Pearson tipo III, uma vez que a amostra obteve a menor distância no teste de Kolmogorov-Smirnov. O *software* Easyfit (2015, tradução nossa) também demonstrou ser a distribuição log-Pearson tipo III mais adequada para a amostra testada de acordo com o *ranking* disponibilizado pelo *software*.

A Tabela 10 compila as distribuições mais adequadas conforme o *ranking* gerado.

Tabela 10 - Classificação das distribuições para o teste de Kolmogorov-Smirnov

Distribuição	Kolmogorov-Smirnov	
	Estatística D	Classificação
Gumbel Min	0,173507	3
Log-Pearson 3	0,097104	1
Lognormal	0,103377	2

Fonte: Adaptado de Easyfit (2015, tradução nossa)

É importante ressaltar a diferença histórica entre os valores de vazões mínimas, apresentados na Tabela 11, estimados no exutório da BH do Rio Cubatão nas últimas duas décadas. Os dados foram disponibilizados segundo os diagnósticos de disponibilidade hídrica fornecidos pelos estudos da SDS/SC nos anos de 1997 e 2008. Há também os dados de vazões mínimas fornecidos pelo Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina – PERH/SC (SDS, 2017) e o Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural – PRAPEM/SC (SADR, 2006). Os dados de vazões mínimas de referência regionalizadas do PRAPEM/SC (SADR, 2006) embasam os dados estimados de disponibilidade hídrica do PERH/SC (SDS, 2017).

Também é importante assinalar que os dados de vazões mínimas contidos no PRAPEM/SC (SADR, 2006) foram quantificados segundo os estudos de regionalização de vazões contidos no relatório de título “Regionalização de Vazões das Bacias Hidrográficas Estaduais do Estado de Santa Catarina – (código 676-BAM-SEC-RT-P042)” (SADR, 2006).

Tabela 11 - Histórico Disponibilidade Hídrica para BHRC

Documento	Área de Drenagem (km ²)	Vazão Estimada	
		Q ₉₈ (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)
SDS/SC (1997)	--	--	1,03
SDS/SC (2008)	388	6,14	2,20
PRAPEM/SC (2006)	503	--	2,22
PERH/SC (2017)	383	5,82	2,17

Fonte: O autor.

Destaca-se neste conjunto de dados a discrepância para os valores de área de contribuição calculados para a foz do Rio Cubatão segundo os documentos citados e o valor (489,471 km²) calculado neste trabalho.

O PERH/SC (SDS, 2017) utilizou as equações (1) e (2), para determinar as vazões mínimas de referência para Rio Cubatão. As equações (1) e (2) por sua vez foram formuladas utilizando como base de dados diversas estações fluviométricas espalhadas em uma região delimitada pelo PRAPEM/SC (SADR, 2006a) que cumprissem os critérios mínimos para a série de dados estabelecidos pelo estudo. Deve-se observar que foi utilizado apenas uma estação fluviométrica no Rio Cubatão (estação Primeiro Salto do Cubatão, código 82261001) para a elaboração das equações de vazões mínimas de referência regionalizadas. Segundo o PRAPEM/SC (SADR, 2006a), a estação Primeiro Salto do Cubatão possui uma área de drenagem de 124,00 km² e 45 anos de leituras diárias (outubro de 1951 ao ano de 1996).

- **1ª Comparação:**

Para comparar os valores de vazões mínimas na foz do Rio Cubatão disponibilizados no PERH/SC de 2017 com os valores de vazões mínimas calculados neste trabalho, fez-se necessário realizar o cálculo das vazões mínimas específicas. Os valores das vazões mínimas específicas, por sua vez, foram obtidos dividindo os valores de vazão mínima apresentados no PERH/SC de 2017 pela área de contribuição apresentado pelo mesmo (383 km²). A Tabela 12 apresenta os valores das vazões mínimas específicas com a unidade transformada para L/(s.km²). Nesta mesma tabela também foram calculadas as vazões mínimas específicas para a área de contribuição da estação Pirabeiraba (374,919km²) que é o conjunto de valores calculados neste trabalho (Vazão Estimada).

Tabela 12 – Comparação entre as vazões específicas do PERH/SC e as vazões estimadas.

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Fonte	Q ₉₈ (m ³ /s)	Q _{98,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{95,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q _{90,esp.} L/(s.km ²)	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q _{7,10,esp.} L/(s.km ²)
Rio Cubatão	383	PERH/SC (2017)	5,82	15,20	6,79	17,73	7,76	20,26	2,17	5,67
Vazão Estimada	374,919	O autor.	3,373	8,997	4,535	12,096	5,908	15,758	2,937	7,834
Diferença (%)	-2,11%		-42,04%	-40,80%	-33,21%	-31,77%	-23,87%	-22,22%	35,35%	38,26%

Fonte: O autor.

Neste conjunto de dados destacam-se as diferenças calculadas entre os valores das vazões mínimas específicas obtidas neste trabalho em relação aos dados oficiais do PERH/SC de 2017. Os resultados indicam a maior diferença, de aproximadamente 41%, sobre a vazão mínima específica Q₉₈ (vazão de referência em SC) e de 38,26% para a vazão Q_{7,10} (que seria a vazão de referência para o Rio Cubatão de acordo com o CCJ). A diferença expressiva para o valor da Q₉₈ se dá pela área de drenagem da bacia, uma vez que o valor de 383km² calculada pelo PERH/SC de 2017 para a foz da BHRC diferencia em apenas 2,11% da área de drenagem calculada para a estação Pirabeiraba a montante da foz da BHRC e pela comparação de intervalos diferentes entre os valores, uma vez que os valores das vazões de permanência presentes no plano estadual trabalham com valores médios mensais regionalizados de permanência. Já os valores de vazões de permanência calculados neste trabalho foram trabalhados com registros diários, seguindo a recomendação de Lanna (2014).

Deste modo, pode-se afirmar que as vazões mínimas de permanência para a foz da BHRC são menores do que as vazões mínimas de permanência apresentados no PERH/SC de 2017. A Tabela 13 apresenta os valores das vazões mínimas obtidas para área calculada na foz da bacia e faz a comparação em termos percentuais.

Tabela 13 - Diferença entre as vazões mínimas para a área calculada na foz da BHRC.

Vazão	Área de Drenagem (km ²)	Q ₉₈ (m ³ /s)	Q _{98,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{95,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q _{90,esp.} L/(s.km ²)	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q _{7,10,esp.} L/(s.km ²)
Vazão para Área Calculada na foz (1)	489,471	7,438	15,20	8,678	17,73	9,917	20,26	2,773	5,67
Vazão para Área Calculada na foz (2)		4,404	8,997	5,921	12,096	7,713	15,758	3,834	7,834
Diferença (%)		-40,79%	-40,81%	-31,77%	-31,78%	-22,22%	-22,22%	38,26%	38,17%

Legenda :

(1) Vazão mínima calculada para a área da foz da BHRC utilizando as vazões mínimas específicas obtidas com os valores do PERH/SC de 2017.

(2) Vazão mínima calculada para a área da foz da BHRC utilizando as vazões mínimas específicas obtidas com os valores deste trabalho.

Fonte: O autor.

- **2ª Comparação:**

A área de drenagem para a foz do Rio Cubatão apresentada no PERH/SC de 2017 (383 km²) não se aproxima do valor calculado neste trabalho (489,471 km²) e também não se aproxima do valor calculado (491,67 km²) pelo Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira – CCJ (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Deste modo, foram recalculados – Tabela 14 - os valores das vazões mínimas presentes no PERH/SC de 2017, utilizando os dados da área de drenagem calculados neste trabalho e os dados calculados pelo comitê de bacia da região. Foram usadas as mesmas equações de regionalização de vazões mínimas – equações (1) e (2) e seus parâmetros – tabelas (1) e (2) – que estão presentes no PRAPEM/SC (SADR, 2006a) e que embasaram o PERH/SC (SDS, 2017). A Diferença 1 indica a variação entre os valores recalculados utilizando os dados da área de drenagem deste trabalho e os apresentados no PERH/SC de 2017. Já a Diferença 2 indica a variação entre os valores recalculados utilizando os dados do comitê da bacia da região e o plano estadual.

Tabela 14 - Vazões recalculadas considerando as áreas obtidas neste trabalho e do CCJ para o PERH/SC.

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Fonte	Q ₉₈ (m ³ /s)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q _{7,10} (m ³ /s)
	383	PERH/SC (2017)	5,82	6,79	7,76	2,17
Rio Cubatão	489,471	(1) O autor.	7,13	8,32	9,51	2,61
	491,670	(2) CCJ (2017).	7,16	8,35	9,54	2,62
Diferença 1 (%)	+27,80		+22,52	+22,52	+22,52	+20,28
Diferença 2 (%)	+28,37		+22,98	+22,98	+22,98	+20,68

Legenda:

(1) Área de drenagem para a foz da BHRC calculada neste trabalho.

(2) Área de drenagem para a foz da BHRC segundo o CCJ (2017)

Fonte: O autor.

Os novos valores apresentaram, como pode ser observado na Tabela 14, diferenças em relação ao que consta no relatório final do PERH/SC, em torno de 22% para todos os valores de vazões de permanência e em torno de 20% para os valores da vazão Q_{7,10}. As diferenças para a área de drenagem da bacia indicam um valor em torno de aproximadamente 28% em relação a área apresentada no plano estadual.

As vazões mínimas recalculadas e apresentadas na Tabela 14 foram transformadas em vazões mínimas específicas e comparadas com os valores das vazões específicas calculadas neste trabalho - Tabela 15 – para a foz da BHRC. A Diferença 1 indica a variação entre os valores das vazões calculadas neste trabalho (Vazão Calculada) e a vazão regionalizada mínima recalculada para a área da bacia de 489,471 km². Já a Diferença 2 indica a mesma diferença, porém para a área da bacia de 491,670 km². Todos os valores das vazões presentes na Tabela 15 se referem a vazão na foz da BHRC.

Tabela 15 - Vazões Q₉₈, Q₉₅, Q₉₀ e Q_{7,10} recalculadas e comparadas com a vazão estimada na foz da BHRC.

Bacia Hidrográfica	Área de Drenagem (km ²)	Fonte	Q ₉₈ (m ³ /s)	Q _{98,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₅ (m ³ /s)	Q _{95,esp.} L/(s.km ²)	Q ₉₀ (m ³ /s)	Q _{90,esp.} L/(s.km ²)	Q _{7,10} (m ³ /s)	Q _{7,10,esp.} L/(s.km ²)
Rio Cubatão	489,471	(1) O autor.	7,13	14,57	8,32	17,00	9,51	19,42	2,61	5,33
	491,670	(2) CCJ (2017)	7,16	14,56	8,35	16,98	9,54	19,41	2,62	5,33
Vazão Calculada	489,471		4,404	8,997	5,921	12,096	7,713	15,758	3,834	7,834
	Diferença 1 (%)		-38,24	-38,24	-28,83	-28,83	-18,88	-18,88	46,90	46,92
	Diferença 2 (%)		-38,47	-38,20	-29,09	-28,78	-19,18	-18,81	46,41	47,08

Legenda:

(1) Área de drenagem para a foz da BHRC calculada neste trabalho.

(2) Área de drenagem para a foz da BHRC segundo o CCJ (2017)

Fonte: O autor.

Os valores das vazões mínimas específicas - em L/(s.km²) - apresentados na Tabela 15 apresentam uma diferença de aproximadamente 38% para a vazão Q₉₈ e uma diferença de 46,91% para a vazão Q_{7,10}. A expressiva diferença entre as vazões de permanência ocorre pelo mesmo motivo apontado anteriormente, pois está se comparando vazões mínimas de permanência regionalizadas mensais com vazões mínimas de permanência obtidas com registros diários. O aumento da variação, em torno de 46,91% para a vazão Q_{7,10}, ocorre pelo aumento da área da drenagem calculada para a foz da bacia.

• 3ª Comparação:

A Tabela 16 compara os valores da vazão mínima calculada neste trabalho (Vazão Estimada) com os valores da vazão mínima regionalizada para a seção em que está localizada a estação Pirabeiraba (82270050), utilizando dados oficiais e os dados calculados neste trabalho. As equações (1) e (2) que fornecem, respectivamente, a estimativa da vazão mínima Q_{7,10} e a vazão mínima de

permanência Q_{98} , Q_{95} e Q_{90} para o Rio Cubatão, foram utilizadas para os cálculos na estação Pirabeiraba (Vazão Regionalizada). Nota-se que as equações (1) e (2) são dependentes de variáveis que dizem respeito apenas às características fisiográficas da bacia hidrográfica: área de drenagem (para a vazão $Q_{7,10}$ e vazões de permanência Q_{98} , Q_{95} e Q_{90}) e de fatores hidrológicos: precipitação (somente para as vazões de permanência), permitindo calcular a vazão regionalizada mínima para um ponto qualquer da bacia, com os dados de área de drenagem e precipitação para a seção em questão.

A área de drenagem a montante da estação Pirabeiraba calculada neste trabalho obteve um valor de 374,919 km², valor aproximado com a área de drenagem que consta na descrição das características da estação na plataforma HIDROWEB (374km²). O valor da precipitação anual média sobre a BHRC utilizado no PERH/SC de 2017 para o cálculo das vazões de permanência na foz do Rio Cubatão é de 2100 mm/ano, valor próximo ao informado no documento “Bacias Hidrográficas da Região de Joinville: Gestão e Dados” elaborado pelo CCJ (OLIVEIRA *et al.*, 2017) que fornece o valor de 2182,6 mm/ano de precipitação média anual.

Tabela 16 - Comparação entre a Q_{98} , Q_{95} , Q_{90} e $Q_{7,10}$ para a estação Pirabeiraba.

Precipitação Média (mm/ano):	2100,00	mm/ano						
Área de Drenagem (km ²):	374,919	km ²						
Vazões	Q_{90} (m ³ /s)	$Q_{90,esp.}$ L/(s.km ²)	Q_{95} (m ³ /s)	$Q_{95,esp.}$ L/(s.km ²)	Q_{98} (m ³ /s)	$Q_{98,esp.}$ L/(s.km ²)	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)	$Q_{7,10,esp.}$ L/(s.km ²)
Vazão Regionalizada	7,624	20,336	6,671	17,794	5,718	15,252	2,140	5,709
Vazão Estimada	5,908	15,758	4,535	12,096	3,373	8,997	2,937	7,834
Diferença	-22,51 (%)	-22,51 (%)	-32,02 (%)	-32,02 (%)	-41,01 (%)	-41,01 (%)	37,22 (%)	37,22 (%)

Fonte: O autor.

Na comparação da Tabela 17, foi utilizado o valor da precipitação média anual de toda a BHRC, fornecido pelo PERH/SC de 2017 e não o valor da precipitação inerente à área de contribuição da estação. Logo, os valores das vazões de permanência regionalizados são aproximados e pouco confiáveis, uma vez que a precipitação deverá ser menor para a área de contribuição a montante da estação Pirabeiraba, dada a distribuição da precipitação sobre a bacia. Como a vazão mínima anual de 7 dias consecutivos regionalizada depende somente de uma variável (área de drenagem), é possível estabelecer um valor mais aproximado da vazão de referência para a seção em questão. Este novo conjunto de dados apresentados na Tabela 14 aponta uma diferença de aproximadamente 41% para a vazão de

permanência Q_{98} (vazão de referência em SC) e de 37,22% para a vazão $Q_{7,10}$ (vazão de referência para o Rio Cubatão) na seção da estação Pirabeiraba.

A conservação de ecossistemas ribeirinhos e a proteção de recursos oriundos dos rios de água doce estão ligados diretamente à quantificação da vazão mínima de referência de um rio segundo Tharme (2003). A ciência de avaliação de fluxo ambiental em sua origem nasce com a necessidade em avaliar em que medida a vazão de um curso d'água pode ser alterada do ponto de vista natural e concomitantemente conseguir manter sua integridade com um nível aceitável de degradação do ecossistema (THARME, 2003).

A análise da vazão referência deste trabalho está relacionada ao que Tharme (2003) chama de avaliação de fluxo ambiental, mais precisamente: metodologia hidrológica. Existem, segundo ao autor, inúmeras metodologias que possibilitam determinar de um ponto de vista quantitativo e qualitativo a quantidade requerida de água para conservar um ecossistema e seus recursos, as quais são classificadas em: metodologia hidrológica, hidráulica, avaliação de habitat e metodologia holística.

A metodologia holística, de acordo com Tharme (2003) possibilita identificar eventos críticos de vazão em função do critério para alterações do regime hidrológico natural, para avaliação dos componentes do ecossistema: vegetação ribeirinha, peixes e habitat hidráulico, não necessariamente dentro do sistema de estudo do rio, tornando-a mais adequada para gestão dos recursos hídricos.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo calcular o valor da vazão de referência para uma seção do Rio Cubatão baseando-se nas diretrizes estabelecidas no Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão e na Portaria 36/2008, de 29 de julho de 2008 da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Econômico Sustentável de Santa Catarina (SDS, 2008), alterada pela Portaria SDS nº 051, de 02.10.2008, de 29 de julho de 2008 que define a vazão de referência para concessão da outorga de uso no Art. 2º, inc. II e estabelecem, respectivamente, os métodos $Q_{7,10}$ e Q_{98} como vazão de referência. Foi escolhida a estação Pirabeiraba (82270050) para coleta e inferência estatística dos dados.

A estação escolhida para o cálculo da vazão de referência está a jusante da estação Primeiro Salto do Cubatão (82261001) que teve sua base de dados utilizada para a formulação das equações de vazões mínimas de referência regionalizadas do Rio Cubatão no PRAPEM/SC e utilizadas na elaboração do PERH/SC de 2017, conforme demonstrado neste trabalho. Desta forma, procurou-se calcular o valor da vazão mínima baseando-se na série histórica da estação Pirabeiraba, situada no Rio Cubatão para efetuar as comparações.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a vazão específica Q_{98} para a foz da BHRC difere significativamente da vazão específica Q_{98} calculada no PERH/SC de 2017, resultado da utilização de um valor para a área de drenagem, por parte do PERH/SC de 2017, diferente do que foi calculado neste trabalho e também diferente do valor considerado pelo CCJ. O PERH/SC de 2017 assumiu um valor de área de drenagem para a bacia significativamente menor (aproximadamente 30%) em relação ao valor calculado neste trabalho e aos valores oficiais do comitê de bacia do Rio Cubatão. Esta diferença se aproxima da totalidade da bacia inserida no município de Garuva (aproximadamente 20%). Através desta análise deduz-se que o governo estadual está disponibilizando valores para a vazão mínima de referência que podem não ser condizentes com a disponibilidade hídrica real da BHRC isto é muito importante o ponto de vista da gestão dos recursos hídricos já que a vazão de referência é utilizada como vazão “base” para o processo de gestão da bacia, na concessão das outorgas de água, tendo em vista o uso múltiplo da água. A diferença entre os valores das vazões de permanência, especificamente a vazão Q_{98} , calculado neste trabalho com o apresentado no plano estadual também se justifica pelo intervalo

temporal trabalhado. O senso comum, sugere a literatura, indica trabalhar com intervalos diários de vazão e não mensais ou anuais para a vazão de permanência, já que é desejado assegurar uma vazão que seja representativa na maior parte dos dias.

A vazão de outorga calculada para a seção da estação Pirabeiraba (área de contribuição 374,919km²), segundo o critério da legislação estadual (50% da vazão de referência Q₉₈ para derivações consuntivas) seria de 1,686 m³/s.

Calculado as vazões para a área real da BHRC (489,471 km²) é possível verificar que há menor disponibilidade hídrica em relação ao que está presente no plano estadual. O valor da Q₉₈ calculado neste trabalho, considerando a área total da bacia (489,741km²) é aproximadamente 41% menor que o valor disponibilizado no plano estadual, já a vazão Q_{7,10} considerando a área total da bacia (489,741) é 38,26% maior que o valor disponibilizado pelo plano estadual.

A principal contribuição deste trabalho é a utilização da metodologia recomendada pelo estado-da-arte atual para o cálculo das vazões mínimas de referência.

A BHRC é muito importante para o município de Joinville-SC já que a bacia é responsável por 70% do abastecimento público do município de Joinville-SC e está inserida em aproximadamente 80% da cidade, além de possuir quase todas as nascentes de seus rios inseridas dentro dos limites municipais o que lhe confere um privilégio em termos de recursos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2017). A BHRC pode ser considerada uma variável muito importante no contexto do desenvolvimento histórico da cidade, uma vez que água do Rio Cubatão, além de servir para abastecimento público, também é captada para fins industriais e para uso agropecuário. Deste modo, pode-se afirmar que a previsão de vazões mínimas é muito importante para o uso dos recursos hídricos da BHRC.

Inserida dentro deste contexto a BHRC requer para além do estudo de vazões mínimas com uma análise puramente numérica, uma série de outros estudos que deve englobar diferentes fatores de uso de seus recursos hídricos em uma perspectiva de metodologia holística. A vazão outorgável, portanto, deve estar inserida dentro de um índice de disponibilidade hídrica, visto que é um parâmetro de natureza social e política, cuja determinação depende de diversos fatores ligados diretamente ao uso dos recursos hídricos da bacia como: aspectos hidrológicos, aspectos econômicos, aspectos ambientais, sistema de monitoramento, aspectos legais, organização da comunidade, competência do comitê da bacia entre outros. Portanto, é necessário

avaliar a disponibilidade hídrica do Rio Cubatão através de uma metodologia holística que seja capaz de abranger todos estes fatores.

Como recomendação para futuros trabalhos acadêmicos, seguem algumas propostas que poderão contribuir no estudo de vazões mínimas para a BHRC:

- Analisar outras distribuições probabilísticas, além das empregadas neste trabalho, para a determinação da vazão $Q_{7,10}$;

- Determinar a $Q_{7,10}$ e Q_{98} para seções adicionais do curso principal d'água e estabelecer novas comparações com os valores apresentados no PERH de 2017;

- Recalcular os valores obtidos para as vazões mínimas de referência, por parte do governo, utilizando a metodologia sugerida pelo presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ANA – Agência Nacional de Águas. Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil. **Informe 2016**. Brasília (DF): ANA, 2016. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/informe-conjuntura-2016.pdf>>. Acesso em: 3 set. 2017.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em: 30 ago. 2017.
- BARBETTA, P.A.; REIS, M.M.; BORNIA, A.C. **Estatística para Cursos de Engenharia e Informática**. 2 ed. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2008.
- CANCELLIERE, A.; SALAS, J.D. Drought probabilities and return period for annual streamflows series. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v.391, n.1, p.77-89, 2010. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S002216941000421X/1-s2.0-S002216941000421X-main.pdf?_tid=ab4af642-cbe4-11e7-9615-00000aab0f6c&acdnat=1510957053_60f3fd9063f88d36a66b2e9441f3c738>. Acesso em: 20 out. 2017.
- CCJ – Comitê de Gerenciamento das Bacias Hidrográficas dos Rios Cubatão e Cachoeira, 2017. Disponível em: <<http://www.cubataojoinville.org.br/index.php?site=caracterizacao&tipo=fisicos>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- CHEVALLIER, P. Aquisição e Processamento de Dados. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014. p.485-525.
- CRUZ, J. C. **Disponibilidade Hídrica para Outorga: Avaliação de Aspectos Técnicos e Conceituais**. 2001. 199 f. Tese (Doutorado em Engenharia de) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2602/000323130.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 08 set. 2017.
- DUFFY, C.J. The terrestrial hydrologic cycle: an historical sense of balance. **WIREs Water** 2017, [S.l.], v.4, n.4, p.01-21, 2017. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/wat2.1216/pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.
- EASYFIT: Professional. Version 5.6. [S.l.]: **MathWave Technologies**, 2015. Disponível em: <<http://www.mathwave.com/easyfit-distribution-fitting.html>>. Acesso em: 30 ago. 2018.
- GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G.A. **Hidrologia**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Edgard Blücher, 2004. 291 p.

GERICKE, O. J.; PLESSIS, J.A. Catchment parameter analysis in flood hydrology using GIS applications, [S.l.], v.54, n.2, p. 15-26, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.org.za/pdf/jsaice/v54n2/02.pdf>>. Acesso em: 27 maio 2019.

GONÇALVES, M. L.; OLIVEIRA, F. A. de; ZANOTELLI, C. T.; OLIVEIRA, T. M. N. **Elaboração do Plano Diretor dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Cubatão do Norte**. Joinville: Univille, 2007. 109 p.

GONÇALVES, M. L.; ZANOTELLI, C. T.; OLIVEIRA, F. A. de. **Diagnóstico e Prognóstico das Disponibilidades e Demandas Hídricas do Rio Cubatão do Norte – Joinville – Santa Catarina**. Joinville: Editora Univille, 2006. 92 p.

HidroWeb, Agência Nacional de Águas (ANA). Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 20 set. 2017.

HIPÓLITO, J. R.; VAZ, Á. C. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 2. ed. [S.l.]: IST Press, 2013. 814 p.

LAAHA, G.; DEMUTH, S.; HISDAL, H.; KROLL, C.N.; LANEN, H.A.J. van.; NESTER, T.; ROGGER, M.; SAUQUET, E.; TALLAKSEN, L.M., WOODS, R.A.; YOUNG, A. Prediction of low flows in ungauged basins. In: BLÖSCHL, G.; SIVAPALAN, M.; WAGENER, T.; VIGLIONE, A.; SAVENIJE, H. (Org.). **Runoff Prediction in Ungauged Basins: Synthesis across Processes, Places and Scales**. Cambridge: Cambridge University Press, 2013. p.163-188.

LANNA, A. E. Elementos de Estatística e Probabilidades. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2001. p.79-164.

LANNA, A. E. Gestão dos Recursos Hídricos. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014. p.727-768.

LINSLEY JUNIOR, R. K.; KOHLER, M. A.; PAULHUS, J. L. H. **Hydrology for Engineers**. 2. ed. Tokyo: Ed. McGraw-Hill, 1975. 482 p.

LUIZ, S.F. **Regionalização hidrológica de vazões mínimas por meio do Método dos Mínimos Quadrados Generalizados aplicada à Bacia do Alto São Francisco**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013, Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1053M.PDF>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

MARTINS, J. A. Escoamento Superficial. In: PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. (Org.). **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. p.36-43.

MATHWAVE. **Easyfit**: Distribution Fitting Software. 2017. Disponível em: <<http://www.mathwave.com/en/home.html>>. Acesso em: 14 out. 2018.

MENDES, L. A. **Análise dos Critérios de Outorga de Direito de Usos Consuntivos dos Recursos Hídricos Baseados em Vazões Mínimas e em Vazões de Permanência**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-01082007-180524/fr.php>>. Acesso em: 30 set. 2017.

MISHRA, A. K.; SINGH, V.P. Drought modeling – A review. **Journal of Hydrology**, [S.l.], v.403, n.1, p.157-175, 2011. Disponível em: <https://ac.els-cdn.com/S0022169411002393/1-s2.0-S0022169411002393-main.pdf?_tid=08058094-cbe7-11e7-a3ce-00000aab0f01&acdnat=1510958059_b660043025b54b604cc114db26a4bee2>. Acesso em: 11 nov. 2017.

OLIVEIRA, L. F.C. de; FIOREZE, A. P. Estimativas de vazões mínimas mediante dados pluviométricos na Bacia Hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.1, p.9-15, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v15n1/a02v15n01.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2017.

OLIVEIRA, T.M.N. de; RIBEIRO, J.M.G.; BARROS, V.G.; SIMM, M.; MELLO, Y.R. de; ZEH, K.K. **Bacias Hidrográficas da Região de Joinville: Gestão e Dados**. Joinville, SC: Editora Univille, 2017. Disponível em: <http://www.cubataojoinville.org.br/_publicacoes/bacias-hidrograficas-da-regiao-de-joinville-gestao-e-dados.pdf>. Acesso em: 25, abr. 2019.

PEREIRA, M. E. **Compartilhando a Gestão dos Recursos Hídricos: Joinville e o Rio Cubatão**. 2005. 142 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Ciência Ambiental) – Procam - da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-10012007165259/en.php>>. Acesso em: 06 set. 2017.

PINTO, N. L. de S. Introdução. In: PINTO, N. L. de S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. S. **Hidrologia Básica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. p.1-6. PYRCE, R. Hydrological low flow indices and their uses. **Watershed Science Centre**, n. 4, p. 01-37, 2004. Disponível em: <<http://files.faksnes.webnode.se/200004594-b3995b5902/LowFlowOntRpt2004.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2017.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS**. [s.d.]. Disponível em: <<http://www.qgis.org/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

RIGHETTO, Antonio Marozzi. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. 1. ed. São Carlos: EESC/SP, 1998.

SANTA CATARINA. Lei nº 10.949, de 09 de Novembro de 1998. Dispõe sobre a caracterização do Estado em dez Regiões Hidrográficas. **Diário Oficial [do] Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, 09 nov. 1998. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-10949-1998.pdf>. Acesso em: 30 out. 2017.

SANTA CATARINA. Lei nº 9.748, de 30 de novembro de 1994. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, 30 nov. 1994. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/Lei-Estadual-9748-1994.pdf>. Acesso em: 30 ago. 2017.

SANTA CATARINA. Portaria SDS nº 036, de 29 de Julho de 2008. Estabelece os critérios de natureza técnica pra outorga de direito de uso de recursos hídricos para captação de água superficial, em rios de domínio do Estado de Santa Catarina, e dá outras providências. **Diário Oficial [do] Estado de Santa Catarina**, Florianópolis, SC, 29 jul. 2008. Disponível em:<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/conteudo_visualizar_dinamico.jsp?idEmpresa=29&idMenu=1205&idMenuPai=501>. Acesso em: 01 nov. 2017.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL DE SANTA CATARINA (SADR). **Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio a sua implementação**: regionalização de vazões das bacias hidrográficas do Estado de Santa Catarina. Florianópolis: SADR; SDS; Engecorps-Tetraplan-Lacaz Martins, 2006a. 141 p. Disponível em: <http://www.aguas.sc.gov.br/jsmallfib_top/DHRI/Legislacao/estudo_de_regionalizacao_hidrologica.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2019.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DESENVOLVIMENTO RURAL DE SANTA CATARINA (SADR). **Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o Estado de Santa Catarina e apoio a sua implementação**: panorama dos recursos hídricos em Santa Catarina. Florianópolis: SADR; SDS; Engecorps-Tetraplan-Lacaz Martins, 2006b. 231 p. Disponível em: <<http://www.sirhesc.sds.sc.gov.br/sirhsc/baixararquivo.jsp?id=167&NomeArquivo=Panorama%20dos%20Recursos%20Hidricos%20de%20Santa%20Catarina.pdf>>. Acesso em: 05 mai. 2019.

SDS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina**. 2017. Disponível em:<<http://www.aguas.sc.gov.br/base-documental/plano-estadual-biblioteca>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

SDS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos de Santa Catarina - Vol IV - TOMO VI: RH6 - Baixada Norte**. 2008.

SDS. Governo de Santa Catarina. **SIGSC - Sistema de Informações Geográficas**. [s.d.]. Disponível em: <<http://sigsc.sds.sc.gov.br>>. Acesso em: 20 abr. 2019.

SILVA, A. M.; OLIVEIRA, P. M.; MELLO, C. R. de; 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. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbea/v10n2/v10n2a19.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

SILVA, B. M. B. da; SILVA, D. D. da; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio

Paraopeba. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v.10, n.3, p. 623-634, 2015. Disponível em: < http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1587/pdf_1378>. Acesso em: 15 ago. 2017.

SILVEIRA, A. L. L. da. Ciclo Hidrológico e Bacia Hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. (Org.). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH, 2014. p.35-51.

SILVEIRA, A.L.L. da; SILVEIRA, G.L. da. Vazões mínimas. In: PAIVA, J.B.D. de; PAIVA, E.M.C.D. de. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. 1. ed. Porto Alegre: Editora da UFSM/ABRH, 2016. p.125-163.

SOUZA, F. A. O.; SILVA, C. L. da; MAGGIOTTO, S. R.; OLIVEIRA JÚNIOR, M. P. de. Caracterização das vazões em uma pequena bacia hidrográfica do Distrito Federal, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.16, n.1, p.10-17, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n1/v16n01a02.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2017.

THARME, R. E. A global perspective on environmental flow assessment: emerging trends in the development and application of environmental flow methodologies for rivers, South Africa. **River Research and Applications**, Cape Town, v.19, p.397-441, 2003. Disponível em: < <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/rra.736>>. Acesso em: 22 maio. 2019.

USGS – United States Geological Survey. O Ciclo da Água, 2016. Disponível em: < <https://water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

USGS. Guidelines for determining flood flow frequency – Bulletin 17C. In: USGS **Techniques and Methods**. Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2018. p. 148. Disponível em: <<https://doi.org/10.3133/tm4B5>>.

VASCONCELOS, V. V. What maintains the waters flowing in our rivers?: Rethinking hydrogeology to improve public policy. **Applied Water Science**, v.7, n.4, p.1579-1593, 2017. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-015-0373-0>>. Acesso em: 01 set. 2017.

VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, É. D. de; CUNHA, M. C. da; THOMAZ, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, Taubaté, v.7, n.3, p.212-227, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ambiagua/v7n3/v7n3a17.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2017.

WOLFF, W. **Regionalização hidrológica do Estado de Santa Catarina: uma abordagem sazonal e geostática baseada em modelos**. 2017. 79 p. Tese (Doutorado em Ciências) – da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017. Disponível em: < <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-08062017-164415/en.php>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

Apêndice A - Vazões diárias (m³/s) da estação Pirabeiraba

Dia

Mês / Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31						
out/85	9,572	52,725	54,819	128,968	47,701	34,378	19,319	15,043	12,113	10,592	9,523	8,515	7,878	7,286	6,971	6,4	6,124	6,4	8,844	7,878	8,515	17,347	8,844	8,193	11,722	7,866	5,336	4,843	5,992	20,472	47,701	14,603					
nov/85	5,855	10,229	10,592	15,943	10,962	8,844	7,569	6,882	6,124	5,855	6,124	6,882	6,124	5,992	5,336	8,515	5,592	4,843	4,606	4,843	4,606	4,843	5,336	5,336	5,336	6,4	7,569	4,843	4,376	4,786	4,606	6,4	13,745				
dez/85	9,523	8,515	19,886	9,523	7,286	6,124	5,855	6,124	6,124	5,992	5,592	13,745	63,081	16,872	10,962	14,603	21,674	15,489	19,319	16,404	11,722	20,472	11,722	32,794	16,872	12,915	14,17	12,51	12,51	10,962	7,569	6,4	13,745				
jan/86	104,181	30,5	21,674	16,872	15,043	13,328	12,113	17,829	17,347	12,113	13,328	10,592	32,794	17,347	12,915	11,722	11,338	10,229	9,872	9,18	8,515	8,515	8,193	8,193	8,193	7,878	8,844	9,18	7,878	7,286	6,882	6,4	6,4				
abr/86	6,124	6,882	6,882	11,338	9,523	7,878	18,319	9,872	8,193	7,286	6,882	7,878	6,882	6,882	6,882	15,943	9,872	17,347	19,886	12,113	9,18	10,229	8,844	8,515	7,286	7,569	10,962	9,872	7,878	7,878	7,878	7,878	7,878	7,878			
mai/86	6,971	6,4	6,124	5,855	5,992	6,124	6,4	6,882	6,124	6,4	6,882	6,124	7,286	8,844	6,4	5,592	5,336	5,336	5,336	5,086	5,086	5,086	4,606	4,606	4,606	4,606	4,606	4,606	4,376	4,152	4,152	5,855	5,855				
jun/86	4,376	4,152	3,934	3,934	3,934	3,934	3,934	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,518	3,934	3,723	3,518	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	2,761	2,941	2,941	2,941	2,941				
jul/86	2,941	3,319	3,518	3,934	4,376	10,962	19,886	12,915	16,404	14,489	9,872	6,882	5,336	4,606	4,376	4,152	3,723	5,086	5,855	5,855	5,855	5,855	5,855	5,855	5,855	5,855	5,855	4,152	3,934	3,723	3,518	3,518	3,518	3,518			
ago/86	3,723	3,518	3,319	3,127	3,127	2,941	2,941	2,941	2,941	2,761	2,761	5,086	8,844	6,124	4,376	5,086	3,934	3,518	3,319	3,319	3,319	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723	3,723		
set/86	30,5	15,943	17,829	11,338	24,201	25,528	11,338	7,569	6,882	6,124	5,855	5,336	4,843	4,606	4,376	4,006	4,376	4,606	4,376	4,006	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376	4,376		
out/86	10,962	10,229	9,18	8,515	8,193	7,878	7,286	6,882	6,124	5,855	5,336	4,843	4,606	4,376	4,152	3,723	3,518	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319	3,319		
nov/86	10,962	9,18	8,844	7,569	15,489	22,29	14,603	10,962	8,515	21,088	33,58	15,943	13,328	12,113	10,962	9,872	8,515	8,193	7,878	7,569	7,286	6,4	8,515	10,229	10,962	9,18	15,943	12,915	10,229	36,837	10,229	36,837	10,229	36,837			
dez/86	50,68	26,205	17,347	18,875	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347	17,347		
jan/87	27,897	23,449	30,629	27,897	27,236	25,304	24,677	54,672	40,476	34,24	29,246	25,939	45,528	124,71	95,286	84,733	58,585	61,618	43,808	39,665	35,746	53,716	50,905	37,287	34,24	32,047	29,933	28,567	25,939	24,677	25,939	24,677	25,939	24,677	25,939		
fev/87	24,059	25,304	40,476	34,24	24,059	22,847	21,67	24,677	27,236	22,847	31,333	72,33	210,462	418,657	533,839	148,388	127,378	110,161	92,707	76,878	62,647	50,905	39,665	36,512	33,5	29,246	24,059	22,847	21,67	24,677	22,847	21,67	24,677	22,847	21,67	24,677	
mar/87	20,527	19,417	18,875	18,341	17,816	17,289	16,289	19,868	16,289	19,868	16,289	17,816	17,289	17,289	17,289	17,816	16,789	16,289	18,341	18,875	18,875	17,816	16,289	15,796	14,836	15,796	14,836	15,796	14,836	15,796	14,836	15,796	14,836	15,796	14,836	15,796	
abr/87	13,908	49,076	60,598	36,512	21,094	25,939	21,094	19,868	17,289	15,796	16,289	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	
mai/87	23,449	19,868	18,875	17,816	17,289	18,875	50,905	150,046	44,663	27,236	24,677	22,559	19,868	79,208	31,333	25,304	33,58	25,304	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	22,847	
jun/87	19,868	18,875	17,816	18,875	18,875	18,875	23,449	19,868	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	18,875	
ago/87	16,789	16,789	15,796	14,836	14,836	14,836	15,796	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789	16,789
set/87	13,013	13,013	12,151	11,32	12,151	18,341	14,836	13,013	12,151	12,151	11,32	10,917	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	
nov/87	23,449	49,076	21,094	22,255	22,255	22,255	20,527	17,816	16,789	15,796	16,289	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	14,836	
dez/87	14,836	14,368	14,368	13,908	13,908	13,908	13,013	13,013	13,013	13,908	17,289	25,567	18,875	17,289	18,875	15,796	13,908	12,578	12,151	20,527	22,326	22,847	21,094	19,868	20,527	21,67	23,449	19,417	17,289	16,789	14,836	13,908	13,013	11,32	11,32	11,32	11,32
jan/88	23,449	17,289	15,796	13,908	13,013	12,151	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	11,32	
fev/88	140,246	73,611	39,983	27,882	24,298	20,519	17,255	22,235	41,919	45,935	43,9	26,472	22,235	18,43	17,255	17,255	15,578	14,902	13,007	13,007	13,007	13,007	13,007	13,007	11,446	15,042	53,176	41,295	31,333	21,67	19,868	25,939	43,9	43,9	43,9		
mar/88	39,983	52,202	48,026	34,533	25,735	20,519	18,43	83,303	34,533	33,669	25,01	27,982	22,235	19,034	17,255	16,126	15,042	16,286	16,684	14,517	13,499	13,007	12,055	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446	11,446
abr/88	9,453	11,146	11,146	9,453	8,291	11,146	9,453	8,291	11,146	9,453	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924	7,924
mai/88	13,007	31,98	62,407	82,322	60,286	57,181	48,026	11,884	45,935	32,818	26,472	22,91	20,519	15,943	17,255	16,126	14,902	13,007	10,279	9,881	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453	9,453
jun/88	22,91	18,43	17,836	20,919	16,126	15,578	14,517	14,002	13,007	14,517	17,936	14,517	13,007	44,911	17,255																						

Apêndice A - Vazões diárias (m³/s) da estação Pirabeiraba

Dia

Mês / Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31				
abr/10	25,431	24,012	23,322	22,666	21,508	20,844	20,388	19,843	20,388	26,902	26,16	27,637	25,431	24,012	15,812	14,449	15,812	14,449	14,449	19,307	25,431	33,312	42,955	49,46	56,955	51,534	45,471	40,801	35,05	30,908					
mai/10	26,902	24,012	21,508	16,795	16,284	20,388	24,716	30,808	24,716	30,808	22,666	21,508	20,388	19,307	19,307	18,79	18,283	28,425	17,477	26,902	19,307	86,439	90,983	95,425	45,971	34,174	28,425	26,16	24,716	24,012					
jun/10	22,666	38,694	76,648	90,983	63,913	37,762	26,16	24,716	21,508	22,082	20,807	40,601	26,16	21,508	19,307	19,307	17,255	15,812	15,849	14,884	33,312	52,591	24,012	21,508	19,307	17,255	17,255	16,765	14,449	14,449					
jun/10	14,449	13,583	12,751	12,348	11,888	11,953	11,566	11,953	11,953	11,953	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751	12,751		
ago/10	16,284	30	38,694	28,425	65,122	35,05	24,716	22,666	20,388	18,79	18,283	17,754	16,765	16,765	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	14,449	
set/10	10,099	9,413	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	9,081	8,757	
out/10	19,307	157,369	33,312	19,307	35,05	16,284	17,255	16,765	12,751	12,751	14,449	11,953	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	10,454	
nov/10	13,583	11,188	10,454	10,454	18,283	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953	12,348	10,454	11,953
dez/10	71,381	38,694	32,464	26,902	54,746	35,05	33,312	39,64	20,844	18,283	15,849	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884	14,884
jan/11	43,554	24,716	26,16	24,012	19,843	24,012	65,122	20,388	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849	15,849
fev/11	22,666	24,716	43,554	22,666	19,307	20,388	25,431	26,16	21,508	17,754	27,637	24,716	17,255	44,506	17,707	109,963	54,746	42,955	33,312	24,012	26,902	32,464	37,772	22,69	24,764	22,024	18,87	21,369							
mar/11	19,477	37,772	30,849	35,961	42,542	95,728	66,522	38,698	55,442	92,512	123,031	163,393	207,306	87,814	70,483	40,592	43,538	39,638	40,592	36,86	40,592	76,008	52,02	38,698	50,009	36,86	43,538	36,86	30,849	52,02	92,512				
abr/11	96,612	46,611	50,909	38,698	30,849	29,251	24,061	22,024	20,096	20,096	20,096	20,096	18,87	18,206	18,87	18,206	22,69	20,096	20,096	18,206	20,096	18,87	20,096	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	22,024	
mai/11	14,731	14,731	13,305	13,305	11,626	11,626	10,364	11,626	10,364	11,626	13,305	15,471	18,206	20,096	24,764	27,705	26,951	13,305	13,305	12,284	11,626	11,626	13,305	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	
jun/11	30,849	46,611	104,085	36,86	22,024	16,23	13,305	10,986	8,889	8,889	8,889	8,331	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	8,331	8,889	
ago/11	66,522	67,83	26,951	34,204	26,209	11,304	16,616	14,009	49,813	47,663	58,998	37,772	24,764	26,209	26,209	18,206	19,477	20,096	26,951	26,209	20,726	21,369	63,952	41,56	43,538	37,772	32,5	54,286	35,961	37,772					
set/11	30,849	26,951	23,369	17,802	17,007	30,849	125,844	50,909	49,813	38,698	32,5	32,5	30,849	27,705	26,209	34,204	28,472	24,764	24,061	22,024	23,369	20,726	22,024	20,726	20,726	20,726	20,726	17,402	15,848	16,23	16,23	16,23	16,23	16,23	
out/11	16,616	19,477	14,731	16,616	15,848	15,848	14,368	14,368	19,477	23,369	32,5	18,206	35,961	52,02	41,56	33,345	49,813	26,209	35,076	29,251	27,705	24,764	22,024	20,726	20,726	20,726	15,848	17,802	15,848	10,364	14,731	66,522	17,802		
nov/11	18,206	16,616	14,731	15,099	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96	12,96
dez/11	26,209	17,007	16,616	17,802	18,206	14,009	13,305	12,62	31,668	17,905	47,663	37,772	28,472	24,061	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	14,009	
jan/12	35,961	47,663	29,251	21,369	19,477	16,616	17,402	16,616	40,592	54,286	29,251	38,638	24,061	29,251	30,849	27,705	26,209	23,369	24,764	20,726	18,206	38,698	44,548	30,849	28,472	83,264	57,796	37,772	26,209	24,764	24,061				
fev/12	23,369	22,024	19,477	11,626	10,986	10,673	9,76	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	11,626	
mar/12	20,966	15,099	18,206	13,655	12,284	11,304	10,364	10,364	10,364	9,465	9,175	9,175	7,791	6,766	7,269	8,889	9,76	9,175	12,284	9,175	12,284	9,175	6,521	10,986	9,76	9,76	8,808	8,059	10,986	6,044	5,364	4,724			
abr/12	7,269	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	6,521	
mai/12	16,23	14,731	13,305	22,024	16,616	9,175	11,626	11,953	10,986	11,626	10,364	10,06	9,175	10,364	7,791	16,616	34,204	32,5	19,477	18,206	13,305	12,284	12,62	14,731	54,286	28,472	14,368	12,284	10,673	9,76	12,284				
jun/12	11,953	12,284	15,848	62,691	145,964	45,572	31,668	26,209	15,848	20,726	204,675	34,204	24,764	20,726	19,477	16,616	16,23	15,848	20,726	32,5	26,951	27,705	16,23	15,848	15,848	15,848	15,848	15,848	14,731	13,655	12,284				
jun/12	12,284	12,62	12,284	10,364	10,986	11,304	18,206	16,616	15,848	13,305	12,96	12,284	12,284	10,673	11,304	9,76	9,175	15,848	13,655	13,655	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	13,305	15,848	61,445	27,705	21,369	24,764	38,698			
ago/12	41,56	34,204	22,024	16,616	15,848	16,23	15,099	13,655	13,305	12,96	12,284	12,284	12,284	10,673	11,304	9,76	9,175	15,848	13,655	13,655	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	12,284	
set/12	7,015	10,364	8,889	8,608	6,521	6,766	6,521	6,044	4,32	11,953	23,369	49,813	30,849	22,024	30,849	12,96	10,986	9,76	9,465	9,175	8,608	7,791	90,929	26,209	18,87	18,206	24,764	19,477	11,626	12,284	9,76				
nov/12	28,472	21,369	15,471	14,009	12,96	12,284	10,06	14,368	179,644	111,044	11,044	16,616	20,726	26,209	28,472	30,849	23,369</																		

Apêndice A - Vazões diárias (m³/s) da estação Pirabeiraba

Dia

Mês / Ano	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
out/13	11,563	14,731	14,388	14,731	18,206	12,284	11,953	12,86	12,284	11,626	9,76	9,465	9,175	9,175	9,175	10,06	10,986	9,76	9,76	9,465	9,175	9,76	10,986	12,284	15,848	17,402	28,251	15,848	11,626	12,284	10,673
nov/13	13,305	13,305	10,673	12,62	14,731	18,206	17,402	18,206	14,368	13,305	10,986	10,06	9,465	8,889	8,889	9,175	27,705	12,96	10,673	9,465	18,206	26,209	20,726	14,731	95,728	120,161	33,345	26,209	35,961	26,951	
dez/13	34,204	26,209	20,726	18,87	24,764	26,209	22,69	24,061	19,477	47,663	71,848	69,153	31,688	27,705	37,772	20,096	22,024	30,849	18,206	26,209	31,668	71,848	54,286	37,772	24,061	23,369	20,726	19,477	16,616	15,099	24,061
jan/14	15,848	20,726	15,848	43,538	36,86	30,849	18,206	20,096	20,726	17,802	14,009	14,368	24,061	19,477	15,471	15,848	14,731	13,305	13,305	11,953	12,284	9,175	7,269	6,521	7,015	14,731	10,673	9,175	7,791	8,889	8,059
fev/14	8,059	7,528	7,015	7,015	8,059	7,015	6,521	5,813	5,813	5,813	5,364	5,364	5,813	11,953	41,56	71,848	309,462	141,793	58,998	31,668	23,369	20,726	19,477	17,402	19,477	16,616	15,848	15,848			
mar/14	17,802	15,848	15,099	17,007	22,024	15,848	14,731	12,62	13,655	14,731	26,209	15,099	54,286	34,204	27,705	17,402	16,23	37,772	30,849	23,369	18,206	22,024	16,23	14,731	12,284	13,655	14,009	14,009	14,009	13,305	
abr/14	12,284	26,951	184,461	62,691	34,204	26,209	21,369	19,477	16,616	18,206	17,007	18,206	16,616	14,368	14,731	16,616	15,848	15,848	13,655	17,802	17,402	14,009	31,668	15,848	15,848	16,23	15,471	23,369	19,477	17,802	
mai/14	14,368	14,009	13,305	12,284	12,284	11,953	11,626	11,626	9,175	9,76	24,061	12,96	9,76	9,76	10,986	10,364	9,76	10,364	10,986	10,06	9,175	10,364	17,007	17,007	17,007	55,442	15,099	14,368	13,305	10,673	
jun/14	12,284	10,364	9,76	10,364	9,76	77,427	74,606	326,643	65,229	40,592	28,472	35,076	24,061	22,024	35,961	32,5	22,024	24,764	26,951	25,481	20,726	19,477	17,402	17,802	18,87	15,848	16,23	17,007	39,638	19,477	
jul/14	14,009	12,284	13,305	14,731	14,009	14,368	13,655	12,284	14,368	16,616	14,731	16,616	20,096	15,099	15,471	14,368	13,655	12,62	13,305	12,284	11,953	11,626	11,626	14,368	11,626	10,986	12,96	12,96	15,848	11,626	
ago/14	9,175	10,673	9,76	8,608	9,76	10,364	8,889	9,175	8,608	8,608	9,175	7,528	24,764	14,009	9,76	30,849	27,705	15,099	9,175	10,364	10,986	11,304	9,465	8,608	7,015	9,76	8,889	7,528	8,059	14,009	
set/14	14,368	12,284	23,369	19,477	37,772	22,024	12,96	11,953	11,626	10,986	10,673	9,76	9,175	9,76	9,76	9,175	8,889	7,528	30,044	16,23	11,626	11,626	9,465	13,655	14,731	15,848	16,616	26,951	27,705	21,369	
out/14	89,363	23,369	17,007	14,009	13,655	13,305	14,009	11,626	10,364	11,626	10,364	12,284	11,626	9,76	13,305	9,76	9,175	10,364	9,175	9,76	9,175	8,889	8,889	8,331	7,528	8,059	7,791	7,528	8,059	6,521	
nov/14	6,521	9,465	8,608	6,766	23,369	16,23	20,726	15,099	10,06	8,608	8,889	7,015	7,528	10,364	7,528	7,528	6,28	6,521	6,521	7,269	7,015	8,059	9,76	11,626	8,331	8,331	8,331	7,015	7,528	7,528	
dez/14	6,766	6,521	6,044	15,099	9,465	7,015	6,521	6,28	5,586	5,586	4,933	12,284	17,402	13,305	10,06	9,175	7,015	5,848	10,364	8,608	9,175	31,668	41,56	33,345	37,772	24,764	16,23	16,616	14,368	13,305	

Apêndice B – Cálculo das vazões pela distribuição de Gumbel Mínimos

Estação Pirabeiraba				
média	5,45	s	2,255	
Ano	Qobs	m	T anos	Qcalc
2006	1,100	1	31,000	0,460
2000	2,401	2	15,500	1,708
1986	2,916	3	10,333	2,451
1999	3,210	4	7,750	2,988
2009	3,370	5	6,200	3,412
2007	3,490	6	5,167	3,766
1996	3,663	7	4,429	4,072
2003	3,728	8	3,875	4,342
1997	3,750	9	3,444	4,586
2002	4,318	10	3,100	4,810
2008	4,617	11	2,818	5,017
2005	4,754	12	2,583	5,212
1991	4,779	13	2,385	5,396
1995	5,034	14	2,214	5,571
1992	5,060	15	2,067	5,740
2004	5,189	16	1,938	5,904
1985	5,358	17	1,824	6,064
1988	5,459	18	1,722	6,220
1989	5,754	19	1,632	6,375
2014	5,786	20	1,550	6,529
2012	6,138	21	1,476	6,684
2011	6,569	22	1,409	6,841
1998	6,666	23	1,348	7,001
1993	6,840	24	1,292	7,166
2013	7,216	25	1,240	7,339
2001	8,411	26	1,192	7,524
1994	8,624	27	1,148	7,727
1990	8,846	28	1,107	7,958
2010	9,083	29	1,069	8,239
1987	11,381	30	1,033	8,636

Apêndice C – Cálculo das vazões pela distribuição de log-Normal

Estação Pirabeiraba									
media	0,6961		s	0,2026					
Ano	Qobs	Log Qobs	m	T	w	z	Kt	Log Qcalc	Qcalc
2006	1,100	0,0412	1	31,000	0,2561	-1,7172	-1,7172	0,3481	2,2290
2000	2,401	0,3804	2	15,500	0,3652	-1,4494	-1,4494	0,4024	2,5256
1986	2,916	0,4648	3	10,333	0,4512	-1,2578	-1,2578	0,4412	2,7618
1999	3,210	0,5064	4	7,750	0,5256	-1,1028	-1,1028	0,4726	2,9689
2009	3,370	0,5276	5	6,200	0,5931	-0,9697	-0,9697	0,4996	3,1592
2007	3,490	0,5429	6	5,167	0,6559	-0,8511	-0,8511	0,5236	3,3389
1996	3,663	0,5638	7	4,429	0,7154	-0,7429	-0,7429	0,5455	3,5119
2003	3,728	0,5715	8	3,875	0,7726	-0,6423	-0,6423	0,5659	3,6807
1997	3,750	0,5740	9	3,444	0,8282	-0,5475	-0,5475	0,5851	3,8472
2002	4,318	0,6353	10	3,100	0,8826	-0,4570	-0,4570	0,6035	4,0130
2008	4,617	0,6643	11	2,818	0,9362	-0,3700	-0,3700	0,6211	4,1794
2005	4,754	0,6770	12	2,583	0,9895	-0,2854	-0,2854	0,6383	4,3476
1991	4,779	0,6794	13	2,385	1,0427	-0,2027	-0,2027	0,6550	4,5187
1995	5,034	0,7020	14	2,214	1,0962	-0,1212	-0,1212	0,6715	4,6938
1992	5,060	0,7041	15	2,067	1,1501	-0,0404	-0,0404	0,6879	4,8742
2004	5,189	0,7150	16	1,938	1,2049	0,0402	0,0402	0,7042	5,0610
1985	5,358	0,7290	17	1,824	1,2609	0,1212	0,1212	0,7206	5,2559
1988	5,459	0,7371	18	1,722	1,3184	0,2030	0,2030	0,7372	5,4605
1989	5,754	0,7600	19	1,632	1,3777	0,2863	0,2863	0,7541	5,6769
2014	5,786	0,7624	20	1,550	1,4395	0,3717	0,3717	0,7714	5,9076
2012	6,138	0,7880	21	1,476	1,5043	0,4599	0,4599	0,7893	6,1559
2011	6,569	0,8175	22	1,409	1,5727	0,5519	0,5519	0,8079	6,4258
1998	6,666	0,8238	23	1,348	1,6459	0,6488	0,6488	0,8276	6,7231
1993	6,840	0,8351	24	1,292	1,7252	0,7523	0,7523	0,8485	7,0557
2013	7,216	0,8583	25	1,240	1,8123	0,8645	0,8645	0,8713	7,4351
2001	8,411	0,9249	26	1,192	1,9103	0,9889	0,9889	0,8965	7,8793
1994	8,624	0,9357	27	1,148	2,0237	1,1308	1,1308	0,9252	8,4186
1990	8,846	0,9467	28	1,107	2,1612	1,3000	1,3000	0,9595	9,1105
2010	9,083	0,9582	29	1,069	2,3413	1,5179	1,5179	1,0037	10,0854
1987	11,381	1,0562	30	1,033	2,6207	1,8486	1,8486	1,0707	11,7682

Apêndice D – Cálculo das vazões pela distribuição log-Pearson Tipo III

Estação Pirabeiraba								
média	0,6961	s	0,2026					
Ano		Log Qobs	m	T	Kp	Kp	Log Qcalc	Qcalc
2006	1,100	0,0412	1	31,000	1,391	-1,391	0,4142	2,5953
2000	2,401	0,3804	2	15,500	1,212	-1,212	0,4505	2,8214
1986	2,916	0,4648	3	10,333	1,131	-1,131	0,4669	2,9303
1999	3,210	0,5064	4	7,750	1,002	-1,002	0,4930	3,1115
2009	3,370	0,5276	5	6,200	0,917	-0,917	0,5102	3,2374
2007	3,490	0,5429	6	5,167	0,861	-0,861	0,5217	3,3241
1996	3,663	0,5638	7	4,429	0,721	-0,721	0,5500	3,5481
2003	3,728	0,5715	8	3,875	0,594	-0,594	0,5756	3,7639
1997	3,750	0,5740	9	3,444	0,496	-0,496	0,5956	3,9408
2002	4,318	0,6353	10	3,100	0,417	-0,417	0,6115	4,0883
2008	4,617	0,6643	11	2,818	0,353	-0,353	0,6246	4,2130
2005	4,754	0,6770	12	2,583	0,299	-0,299	0,6355	4,3199
1991	4,779	0,6794	13	2,385	0,254	-0,254	0,6447	4,4124
1995	5,034	0,7020	14	2,214	0,215	-0,215	0,6526	4,4933
1992	5,060	0,7041	15	2,067	0,181	-0,181	0,6594	4,5646
2004	5,189	0,7150	16	1,938	-0,036	0,036	0,7034	5,0510
1985	5,358	0,7290	17	1,824	-0,404	0,404	0,7779	5,9968
1988	5,459	0,7371	18	1,722	-0,731	0,731	0,8442	6,9853
1989	5,754	0,7600	19	1,632	-1,023	1,023	0,9035	8,0071
2014	5,786	0,7624	20	1,550	-1,287	1,287	0,9568	9,0538
2012	6,138	0,7880	21	1,476	-1,525	1,525	1,0051	10,1184
2011	6,569	0,8175	22	1,409	-1,741	1,741	1,0490	11,1944
1998	6,666	0,8238	23	1,348	-1,939	1,939	1,0891	12,2764
1993	6,840	0,8351	24	1,292	-2,120	2,120	1,1258	13,3599
2013	7,216	0,8583	25	1,240	-2,287	2,287	1,1596	14,4411
2001	8,411	0,9249	26	1,192	-2,441	2,441	1,1908	15,5165
1994	8,624	0,9357	27	1,148	-2,584	2,584	1,2197	16,5836
1990	8,846	0,9467	28	1,107	-2,716	2,716	1,2465	17,6400
2010	9,083	0,9582	29	1,069	-2,839	2,839	1,2715	18,6840
1987	11,381	1,0562	30	1,033	-2,954	2,954	1,2948	19,7141

**Apêndice E - Valores críticos para o teste de Kolmogorov -
Smirnov**

Tamanho da amostra	Valor Crítico
n	$\alpha = 5\%$
1	0,975
2	0,842
3	0,708
4	0,624
5	0,563
6	0,519
7	0,483
8	0,454
9	0,43
10	0,409
11	0,391
12	0,375
13	0,361
14	0,349
15	0,338
16	0,327
17	0,318
18	0,309
19	0,301
20	0,294
25	0,264
30	0,242
35	0,224
40	0,21
45	0,198
50	0,188

Apêndice F - Fator de Frequência para distribuição log-Pearson Tipo III

	Tempo de Retorno							
	1,0101	2	5	10	25	50	100	200
Coefficiente de Assimetria	Probabilidade de Excedência (\geq) = 1-F							
Cw	99	50	20	10	4	2	1	0,5
3	-0,667	-0,4	0,42	1,18	2,28	3,15	4,05	4,97
2,9	-0,69	-0,39	0,44	1,2	2,28	3,13	4,01	4,904
2,8	-0,714	-0,38	0,46	1,21	2,28	3,11	3,97	4,847
2,7	-0,74	-0,38	0,48	1,22	2,27	3,09	3,93	4,783
2,6	-0,769	-0,37	0,5	1,24	2,27	3,07	3,89	4,718
2,5	-0,799	-0,36	0,52	1,25	2,26	3,05	3,85	4,652
2,4	-0,832	-0,35	0,54	1,26	2,26	3,02	3,8	4,584
2,3	-0,867	-0,34	0,56	1,27	2,25	3	3,75	4,515
2,2	-0,905	-0,33	0,57	1,28	2,24	2,97	3,71	4,444
2,1	-0,946	-0,32	0,59	1,29	2,23	2,94	3,66	4,372
2	-0,99	-0,31	0,61	1,3	2,22	2,91	3,61	4,298
1,9	-1,037	-0,29	0,63	1,31	2,21	2,88	3,55	4,223
1,8	-1,087	-0,28	0,64	1,32	2,19	2,85	3,5	4,147
1,7	-1,14	-0,27	0,66	1,32	2,18	2,82	3,44	4,069
1,6	-1,197	-0,25	0,68	1,33	2,16	2,78	3,39	3,99
1,5	-1,256	-0,24	0,69	1,33	2,15	2,74	3,33	3,91
1,4	-1,318	-0,23	0,71	1,34	2,13	2,71	3,27	3,828
1,3	-1,383	-0,21	0,72	1,34	2,11	2,67	3,21	3,745
1,2	-1,449	-0,2	0,73	1,34	2,09	2,63	3,15	3,661
1,1	-1,518	-0,18	0,75	1,34	2,07	2,59	3,09	3,575
1	-1,588	-0,16	0,76	1,34	2,04	2,54	3,02	3,489
0,9	-1,66	-0,15	0,77	1,34	2,02	2,5	2,96	3,401
0,8	-1,733	-0,13	0,78	1,34	1,99	2,45	2,89	3,312
0,7	-1,806	-0,12	0,79	1,33	1,97	2,41	2,82	3,223
0,6	-1,88	-0,1	0,8	1,33	1,94	2,36	2,76	3,132
0,5	-1,955	-0,08	0,81	1,32	1,91	2,31	2,69	3,041
0,4	-2,029	-0,07	0,82	1,32	1,88	2,26	2,62	2,949
0,3	-2,104	-0,05	0,82	1,31	1,85	2,21	2,54	2,856
0,2	-2,178	-0,03	0,83	1,3	1,82	2,16	2,47	2,763
0,1	-2,252	-0,02	0,84	1,29	1,79	2,11	2,4	2,67
0	-2,326	0	0,84	1,28	1,75	2,05	2,33	2,576
-0,1	-2,4	0,017	0,85	1,27	1,72	2	2,25	2,482
-0,2	-2,472	0,033	0,85	1,26	1,68	1,95	2,18	2,388
-0,3	-2,544	0,05	0,85	1,25	1,64	1,89	2,1	2,294
-0,4	-2,615	0,066	0,86	1,23	1,61	1,83	2,03	2,201
-0,5	-2,686	0,083	0,86	1,22	1,57	1,78	1,96	2,108
-0,6	-2,755	0,099	0,86	1,2	1,53	1,72	1,88	2,016
-0,7	-2,824	0,116	0,86	1,18	1,49	1,66	1,81	1,926
-0,8	-2,891	0,132	0,86	1,17	1,45	1,61	1,73	1,837
-0,9	-2,957	0,148	0,85	1,15	1,41	1,55	1,66	1,749
-1	-3,022	0,164	0,85	1,13	1,37	1,49	1,59	1,664
-1,1	-3,087	0,18	0,85	1,11	1,32	1,44	1,52	1,581
-1,2	-3,149	0,195	0,84	1,09	1,28	1,38	1,45	1,501
-1,3	-3,211	0,21	0,84	1,06	1,24	1,32	1,38	1,424
-1,4	-3,271	0,225	0,83	1,04	1,2	1,27	1,32	1,351
-1,5	-3,33	0,24	0,83	1,02	1,16	1,22	1,26	1,282
-1,6	-3,388	0,254	0,82	0,99	1,12	1,17	1,2	1,216
-1,7	-3,444	0,268	0,81	0,97	1,08	1,12	1,14	1,155
-1,8	-3,499	0,282	0,8	0,95	1,04	1,07	1,09	1,097
-1,9	-3,553	0,294	0,79	0,92	1	1,02	1,04	1,044
-2	-3,605	0,307	0,78	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995