

**AEGEA ENGENHARIA E COMERCIO LTDA  
AEGEA**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE  
HÍDRICA PARA CONCEPÇÃO DO SISTEMA DE  
ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM ZIMBROS,  
MUNICÍPIO DE BOMBINHAS/SC.**

**Responsabilidade Técnica:**

**Felipe Odreski**

Gerente de Projeto da Acqualis Engenharia Hídrica  
MSc Eng° Ambiental  
CREA/SC: 114422-2

**Empreendimento:**

**Sistema de Abastecimento de Água  
em Zimbros, Bombinhas/SC.**

**Florianópolis/SC  
Dezembro/2016**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

**SUMÁRIO**

1	APRESENTAÇÃO.....	5
2	EQUIPE TÉCNICA.....	6
3	FLUXOGRAMA DE TRABALHO.....	7
4	ESTUDOS ANTERIORES.....	8
4.1	Estudo de Regionalização de Vazões das Bacias do Estado de Santa Catarina.....	8
4.2	Estudo para Ampliação do Sistema de Abastecimento de água de Zimbros.....	9
5	ESTUDO HIDROLÓGICO.....	11
5.1	Objetivo.....	11
5.2	Considerações Gerais.....	11
5.3	Metodologia.....	12
5.3.1	Cálculo das Áreas e Comprimentos de Talvegue.....	13
5.3.2	Cálculo do Coeficiente de Deflúvio.....	13
5.3.3	Traçado das Curvas de Permanência Mensal e Diária.....	14
5.3.4	Cálculo da Vazão Mínima de 7 Dias de Duração e 10 anos de Tempo de Recorrência (Q7,10).....	15
5.3.5	Cálculo de Vazões Máximas Extremas.....	15
5.3.6	Modelagem Chuva-Vazão.....	16
5.4	Bacias Investigadas no Estudo de Regionalização.....	18
5.4.1	Bacia 1 – ETA Matinhos – Código ANA 82220000.....	19
5.4.2	Bacia 2 – Passo do Vau – Código ANA 82008090.....	22
5.4.3	Bacia 3 – Colônia Rio Verde – Código ANA 82002000.....	26
5.4.4	Bacia 4 – Anhaia – Código ANA 82198000.....	29

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

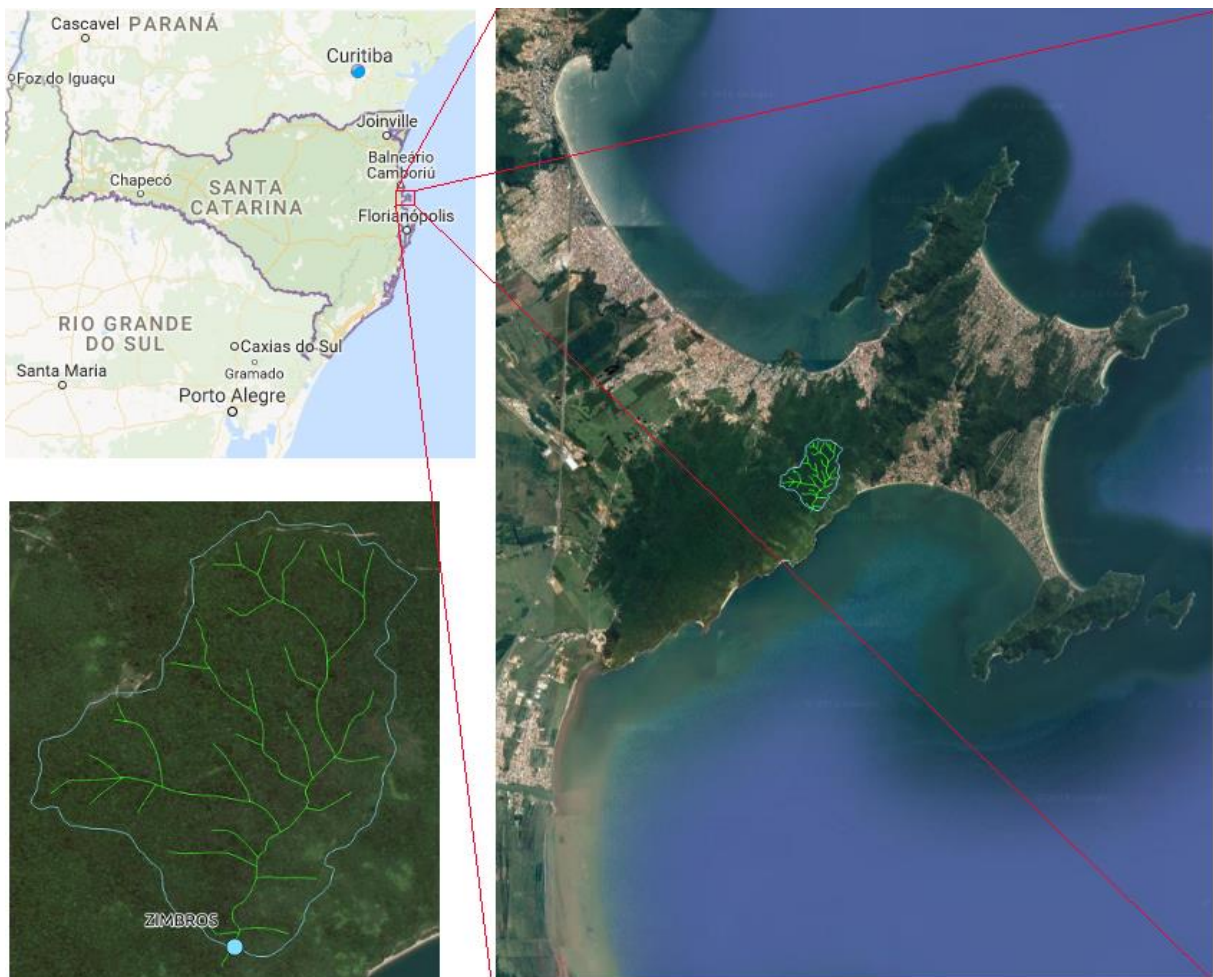
---

5.4.5	Bacia 5 – Estrada dos Morros – Código ANA 82769800 .....	33
5.4.6	Bacia 6 – Rio Novo – Código ANA 82290000 .....	36
5.4.7	Bacia 7 – Rio Correio – Código ANA 82300000 .....	39
5.4.8	Bacia 8 – Rio Nunes – Código ANA 82140700 .....	42
5.5	Resultados da Regionalização .....	45
5.5.1	Coeficientes de Deflúvio, Vazões Mínimas e Máximas .....	45
5.5.2	Curvas de Permanência .....	47
5.6	Determinação das Chuvas na Bacia de Zimbros .....	51
5.7	Modelagem Chuva-Vazão .....	56
5.7.1	Bacias modeladas .....	56
5.7.2	Determinação dos coeficientes de recessão .....	59
5.7.3	Parâmetros do Hidrograma Unitário Sintético .....	62
5.7.4	Perdas de Chuva .....	63
5.7.5	Parâmetros Adotados nos Modelos Chuva-Vazão .....	64
5.7.6	Resultados dos Modelos Chuva-Vazão das Bacias Similares.....	64
5.7.7	Resultados do Modelo Chuva-Vazão na Bacia de Zimbros.....	67
6	RESERVATÓRIO EXISTENTE .....	72
7	VAZÕES DEMANDADAS .....	72
7.1	Vazão máxima instantânea e volume diário que se pretenda derivar .....	72
7.2	Regime de variação, em termos de número de dias de captação, em cada mês, e de número de horas de captação, em cada dia .....	73
7.3	Vazão consuntiva .....	73
8	BIBLIOGRAFIA .....	74

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 1 APRESENTAÇÃO

O presente estudo tem por objetivo estimar a disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica situada no município de Zimbros, estado de Santa Catarina, local de captação do sistema de abastecimento de água de Bombinhas. A localização da bacia é mostrada na Figura 1. No decorrer do relatório esta bacia será referida simplesmente como “bacia de Zimbros”.



**Figura 1 – Localização da bacia de Zimbros**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

## 2 EQUIPE TÉCNICA

O presente estudo foi desenvolvido pela Acqualis Engenharia Hídrica, pelos profissionais identificados na Tabela 1.

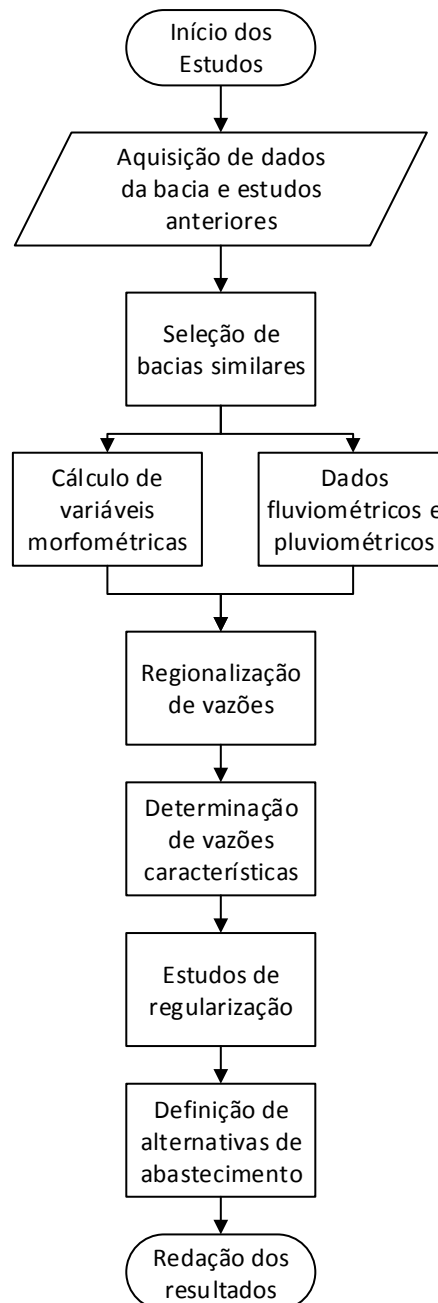
*Tabela 1 - Membros da equipe técnica do estudo.*

Nome	Formação	Nº Conselho	RCT IBAMA
<b>Júlia Costa Silva</b>	Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental	CREA-SC 099635-1	4935405
<b>Luis Felipe Rissetti Odreski</b>	Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental	CREA-SC 114422-2	6260623
<b>Márcio Froelich Friedrich</b>	Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos	CREA-PR 28683/D	---
<b>Davi de Souza Schweitzer</b>	Mestre em Geografia	CREA-SC 076026-4	665296

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 3 FLUXOGRAMA DE TRABALHO

O estudo seguiu o fluxograma apresentado na Figura 2 abaixo:



**Figura 2 – Fluxograma de trabalho**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

## **4 ESTUDOS ANTERIORES**

### **4.1 Estudo de Regionalização de Vazões das Bacias do Estado de Santa Catarina**

Em fevereiro de 2006, o governo do estado de Santa Catarina contratou um estudo de regionalização de vazões de todo o estado, como parte do Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural (Engecorps, Tetraplan e Lacaz Martins, 2006). O estudo faz uma seleção de estações fluviométricas e pluviométricas da ANA e da SUDERHSA com séries de mais de 19 anos de medições, para uso nas análises de regressão. Os coeficientes de deflúvio obtidos em todo o estado variaram de 0,25 a 0,81.

Para gerar equações que estimassem a vazão média de longo termo  $Q_{mlt}$ , foram realizadas análises de regressão que incluíam área de drenagem da bacia, total precipitado anual, declividade média e comprimento do talvegue. Ao final do trabalho, verificou-se que a declividade e o comprimento do talvegue não melhoravam a aderência entre medições e cálculos e não foram incluídas nas equações. As equações de regionalização das vazões  $Q_{mlt}$  resultaram dependentes da área da bacia e do total anual precipitado. As equações para  $Q_{7,10}$  ficaram dependentes apenas da área da bacia.

Para cada variável regionalizada, o estado de Santa Catarina foi dividido em regiões de comportamento homogêneo. Assim, foi definida uma equação em cada região, a princípio válida para todas as bacias nela contidas. Como exemplo, a bacia de Zimbros encontra-se dentro da região M4 de vazões  $Q_{mlt}$ , que se estende desde a bacia do rio Tubarão, ao Sul, até o baixo rio Itajaí-açu, ao norte, com extensão leste-oeste de 50 km, a grosso modo. A região é a mesma para a vazão mínima anual média de 7 dias. Para outras variáveis hidrológicas, são outros os limites da região à qual pertence a bacia de Zimbros.

Na composição da equação da região M4, foram reunidos dados de bacias cujas áreas de drenagem variam de 130 até 11.900 km<sup>2</sup> (Tabela 2). A cobertura de solo nestas bacias é variada, e cada uma possui parcelas distintas de áreas urbanas,



**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

terrenos cultivados, pastagens, campos e florestas. Com exceção da bacia do rio Garcia, os coeficientes de deflúvio variam entre 0,45 e 0,65 e as vazões específicas entre 22 e 35 l/s/km<sup>2</sup>.

**Tabela 2 - Características das bacias hidrográficas da região M4 utilizadas no estudo de regionalização de vazões do governo de Santa Catarina (2006)**

Posto	Curso d'Água	Extensão da Série (anos)	Distância da Nascente (km)	Precipitação (mm/ano)	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Declividade Média (m/km)	vazão específica (l/s/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de Escoamento	vazão média de longo termo (m <sup>3</sup> /s)
83720000	DO TESTO	32	19,6	1.836	135	37,7	26,1	0,45	3,5
83800002	ITAJAÍ-AÇU	58	226,7	1.573	11.927	4,4	32,0	0,64	381,9
83820000	GARCIA	32	28,5	1.669	130	25,9	26,3	0,50	3,4
83880000	LUIZ ALVES	60	19,2	1.832	159	17,8	30,5	0,53	4,9
83900000	ITAJAÍ-MIRIM	69	133,2	1.509	1.206	7,2	26,7	0,56	32,2
84020000	GARCIA	25	47,6	1.705	697	19,7	13,6	0,25	9,5
84041000	BOA ESPERANÇA	20	36,4	1.578	168	21,4	26,4	0,53	4,4
84071000	TIJUCAS	58	14,9	1.687	1.030	10,8	24,2	0,45	24,9
84095000	ALTO BRAÇO	52	103,0	1.495	596	9,7	22,4	0,47	13,3
84100000	CUBATÃO	47	38,7	1.793	401	24,3	32,0	0,56	12,8
84250000	TUBARÃO	30	39,1	1.474	601	5,6	30,4	0,65	18,3
84500000	POVOAMENTO	25	26,7	1.785	140	27,7	34,9	0,62	4,9
84520000	BRAÇO DO NORTE	58	40,7	1.803	376	16,2	28,6	0,50	10,7
84551000	PEQUENO	55	33,0	1.569	379	39,4	31,9	0,64	12,1
84560002	BRAÇO DO NORTE	42	102,1	1.687	1.562	9,1	28,5	0,53	44,5
84580000	TUBARÃO	60	71,5	1.587	2.735	4,1	25,1	0,50	68,7
84600000	CAPIVARI	53	91,2	1.647	774	10	25,1	0,48	19,4

## 4.2 Estudo para Ampliação do Sistema de Abastecimento de água de Zimbros

Em julho de 2013, foi realizado um estudo para a CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento com vistas a ampliar a capacidade de produção da ETA Zimbros, cuja capacidade atual é de 20 a 28 l/s, conforme o mesmo estudo (Nerilo *et al.*, 2013).

O estudo hidrológico realizado nessa ocasião utilizou as equações de regionalização obtidas no trabalho do governo do estado descrito no item 3.1 acima. Os dados e resultados principais dessa regionalização foram:

- Área de drenagem da bacia = 1,69 km<sup>2</sup>;
- Precipitação média anual = 1500 mm;
- Vazão média de longo termo ( $Q_{mlt}$ ) = 0,023 m<sup>3</sup>/s (região M4);

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

- Vazão específica = 0,014 m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>;
- Vazão mínima média de 7 dias com 10 anos de recorrência (Q<sub>7,10</sub>) = 0,004 m<sup>3</sup>/s.

A aplicação da equação de regionalização de Q<sub>mlt</sub> da região M4, juntamente à estimativa de precipitação anual de 1500 mm, forneceu um coeficiente de deflúvio de 0,29.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

## **5 ESTUDO HIDROLÓGICO**

### **5.1 Objetivo**

Interessa neste estudo calcular para a bacia de Zimbros os valores de:

- Vazão média de longo termo ( $Q_{mlt}$ );
- Curva de permanência de vazões médias mensais e médias diárias;
- Vazão mínima média de 7 dias com período de 10 anos de recorrência ( $Q_{7,10}$ );
- Vazões médias mensais de longo período;
- Vazões extremas e seus respectivos períodos de recorrência.

### **5.2 Considerações Gerais**

Em face da pequena área de drenagem da bacia de Zimbros, de sua cobertura integral por floresta e da alta declividade do terreno, vislumbrou-se a hipótese dela se comportar de maneira diferente das bacias estudadas no trabalho de regionalização apresentado no item 5.1. É comum que as vazões específicas, dentro de uma mesma bacia, cresçam com a redução da área de drenagem, aumentando em direção às cabeceiras. Frente a uma bacia usada na regionalização do item 5.1, a bacia de Zimbros poderia ser apenas uma diminuta bacia de sua cabeceira, cuja área de drenagem seria algo entre 0,001% e 1% da bacia principal, como se depreende da Tabela 2. Por isso, é possível que a bacia de Zimbros apresente valores de vazão diferentes daqueles estimados no estudo do item 5.2. O presente estudo hidrológico foi realizado com esta possibilidade em mente.

Como não há dados de vazão medidos no local, a primeira abordagem considerada é utilizar técnicas de regionalização hidrológica a partir de bacias vizinhas com características semelhantes. Entretanto, não há bacias com mesmo tipo de cobertura superficial, áreas de drenagem semelhantes e dadas de vazão disponíveis, localizadas numa distância próxima o suficiente para que o regime pluviométrico fosse o mesmo e as bacias fossem consideradas hidrológicamente similares (homogêneas).

## **ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA** **Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

As bacias próximas com dados disponíveis têm áreas da ordem de 100 vezes ou mais a área da bacia de Zimbros, com parcelas substanciais compostas por pastagens, lavouras ou cidades.

Entretanto, existem algumas bacias próximas do litoral norte de Santa Catarina e do litoral do Paraná, com cobertura total ou quase total de mata, com muito pouca intervenção antrópica. Como os regimes pluviométricos nestas bacias são diferentes do regime na bacia de Zimbros, a precipitação será necessariamente um parâmetro de regionalização.

Ainda assim, permanece a dificuldade imposta pela diferença de área entre estas bacias e a bacia de Zimbros. Como se apresenta no item 6.4, as bacias encontradas possuem áreas que variam entre 9 e 70 vezes a área da bacia de Zimbros. Tucci e Clarke (2001) argumentam que “como o comportamento hidrológico de pequenas bacias pode ser muito diferente das bacias maiores, como a capacidade de regularização do aquífero, amortecimento de enchentes, entre outros, o erro envolvido (na regionalização) pode ser importante.”

Para bacias hidrográficas pequenas como a de Zimbros, é usual aplicar-se modelos chuva-vazão, principalmente para definição de vazões extremas. Considerando-se que existem dados pluviométricos relativamente detalhados nas proximidades de Zimbros e com o intuito de enriquecer o trabalho e fornecer ou cercar os resultados onde o estudo de regionalização pareça excessivamente incerto, foi desenvolvido um modelo chuva-vazão da bacia de Zimbros, com alguns parâmetros escolhidos com base na modelagem das próprias bacias usadas na regionalização.

Em suma, o trabalho foi composto em parte por um estudo de regionalização e em parte por uma modelagem chuva-vazão, com alguns pontos de trocas de informação entre as duas abordagens.

### **5.3 Metodologia**

A busca por informações de bacias hidrográficas similares foi iniciada no banco de dados mantido pela ANA – Agência Nacional de Águas, em sua página de internet Hidroweb (<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>). O posicionamento das

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

estações foi obtido primeiramente nos arquivos disponibilizados pela ANA em formato *shapefile*. Foram detectados alguns erros de posicionamento nos dados dos *shapefiles*, que foram corrigidos com base no novo aplicativo *online* da Hidroweb (<http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>) ou por meio das informações contidas no histórico da estação. Algumas estações são mostradas apenas no novo aplicativo *online*.

Os dados de chuva e vazão foram obtidos em formato de banco de dados “\*.mdb” e processados com auxílio do programa Hidro 1.2, de planilha eletrônica e da linguagem de programação Octave.

### **5.3.1 Cálculo das Áreas e Comprimentos de Talvegue**

Para os cálculos das áreas das bacias, comprimentos e declividades de talvegues, foram utilizados os melhores dados cartográficos disponíveis para as bacias. Para as bacias localizadas no Estado de Santa Catarina, foram utilizados os dados do levantamento aerofotogramétrico de Santa Catarina realizado pela Secretaria de Desenvolvimento Sustentável (SDS) de SC em escala 1:10.000, com Modelos Digitais de Elevação (MDE) com resolução de 1m. Para as bacias localizadas em outras unidades da federação, foram utilizados dados da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), com MDE de 30m de resolução espacial, compatíveis com a escala 1:100.000.

Para as bacias onde existiam dados mais precisos, no caso SC, o divisor de águas foi delimitado por meio de interpretação visual e traçado manual do divisor de águas sobre MDE e as isoipsas derivadas desses dados. No caso das bacias traçadas com dados SRTM, foram utilizados algoritmos de simulação de escoamento, com traçado automatizado, os quais depois passaram por inspeção e retificações, quando necessário.

### **5.3.2 Cálculo do Coeficiente de Deflúvio**

O coeficiente de deflúvio é o quociente entre o volume escoado em sua exutória e o volume total precipitado, em um determinado período. É o principal

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

indicador do balanço hídrico da bacia. Conforme Mendonça (2011), a equação de conservação de massa para a bacia pode ser escrita como:

$$dV/dt = p - r_{sup} - r_{sub} - evt$$

onde:

$V$  = volume de água armazenado na bacia hidrográfica,

$p$  = taxa de precipitação,

$r_{sup}$  = taxa de escoamento superficial,

$r_{sub}$  = taxa líquida de escoamento subterrâneo e

$evt$  = taxa de evapotranspiração.

Em longo prazo  $dV/dt \sim 0$  e considerando desprezível a taxa líquida de escoamento subterrâneo, quando comparada com as demais grandezas:

$$p - r_{sup} - evt = 0$$

que desenvolvida e integrada resulta:

$$R_{sup}/P = 1 - EVT/P = \text{coeficiente de deflúvio}$$

Da formulação acima infere-se que o coeficiente de deflúvio, em longo prazo, deve ser inferior à unidade. O cálculo do coeficiente de deflúvio é sempre restrito ao período em que há medições simultâneas de vazão e de chuva.

De posse do coeficiente de deflúvio foram elaborados gráficos que pudessem revelar correlações com parâmetros das bacias e permitissem a determinação do coeficiente de deflúvio da bacia de Zimbros.

### **5.3.3 Traçado das Curvas de Permanência Mensal e Diária**

Foram traçadas curvas de permanência de vazões médias mensais e de vazões médias diárias. Buscou-se utilizar a maior extensão de série de vazões mensais disponível, com preenchimento das falhas e adotando-se um número de anos inteiro. Para permanência de vazões diárias, a série foi eventualmente encurtada para evitar períodos com muitas falhas, pois, em regra geral, não foi feito preenchimento

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

de vazões em nível diário, o que exigiria uma nova etapa de regionalização para cada bacia estudada.

### **5.3.4 Cálculo da Vazão Mínima de 7 Dias de Duração e 10 anos de Tempo de Recorrência (Q7,10)**

Para a estimativa da Q7,10, foram adotados períodos com início em janeiro e término em dezembro, para garantir a presença de um só valor de vazão mínima por período seco (maio a agosto). Foram aceitos anos com falhas ocorrendo durante o período úmido.

Dois distribuições usuais para estimativa de mínimos foram ajustadas: Gumbel de mínimos e Weibull (extremos mínimos do tipo III). Detalhes das formulações podem ser encontrados em Naghettini e Pinto (2007). A distribuição de Weibull mostrou-se sistematicamente melhor ajustada aos dados medidos e foi adotada em todas as bacias.

### **5.3.5 Cálculo de Vazões Máximas Extremas**

Nas estimativas de vazões de cheia e seus tempos de recorrência, a escolha da vazão média diária máxima de cada ano foi obtida de um período iniciado em agosto e findado em julho, em conformidade com o início e fim do ano hidrológico, para evitar o aparecimento de duas vazões máximas do mesmo período úmido na série anual de vazões máximas.

As distribuições de máximos ajustadas aos dados medidos foram: Gumbel (extremos máximos do tipo I) e exponencial de dois parâmetros. Para coeficiente de assimetria da série amostral inferior a 1,5 foi adotada a distribuição de Gumbel e para coeficiente de assimetria acima de 1,5, a distribuição exponencial. Detalhes dos procedimentos estão em Eletrobrás (2000).



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

### 5.3.6 Modelagem Chuva-Vazão

A modelagem chuva-vazão da bacia de Zimbros baseou-se no conceito do hidrograma unitário sintético. Foi utilizado o *software* HEC-HMS 4.2, de domínio público e usual neste tipo de estudo.

Os coeficientes do modelo chuva-vazão de Zimbros foram definidos a partir das seguintes premissas:

- a) o modelo deve gerar uma série histórica de vazões cujo coeficiente de deflúvio coincida com o coeficiente estimado no estudo de regionalização;
- b) os coeficientes de recessão e de razão de pico devem estar na faixa de coeficientes obtidos na modelagem chuva-vazão das bacias similares;
- c) o tempo de concentração da bacia deve estar dentro da faixa obtida pela aplicação de fórmulas empíricas de tempo de concentração para pequenas bacias;
- d) as curvas de permanência obtidas com a modelo chuva-vazão devem estar compatíveis com as curvas obtidas na regionalização.

O sucesso na elaboração de um modelo chuva-vazão que atenda a todas as premissas e restrições é um indicativo de que os resultados globais do estudo estão razoáveis.

Esta etapa do trabalho envolveu, como revela o item “b” acima, a elaboração de modelos chuva-vazão primeiramente das bacias similares para estimativa de coeficientes.

A primeira etapa para modelagem chuva-vazão das bacias similares foi estimar seus tempos de concentração. Foram aplicadas as fórmulas empíricas de Picking, Ven Te Chow, DNOS, SCS, U. S. Corps of Engineers e Ventura, partindo-se da média entre elas e ajustando-se o valor para melhorar a aderência entre dados modelados e medidos. As equações das diversas formulações empíricas podem ser encontradas em DNIT (2005).

A duração unitária da chuva, intimamente relacionada ao hidrograma unitário, foi estabelecida em  $\frac{1}{4}$  do tempo de concentração, de acordo com orientação de Pinto *et al.* (1976).



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

A equação que rege o comportamento dos trechos de recessão dos hidrogramas é dada por (Linsley *et al.*, 1958):

$$Q_t = Q_0 * k^t$$

onde:

$Q_t$  = vazão no tempo  $t$ ,

$Q_0$  = vazão no início do tramo de recessão,

$t$  = tempo, com a unidade geralmente estabelecida em dias,

$k$  = coeficiente de recessão.

É importante apontar que a utilização desta equação é uma simplificação e torna o modelo chuva-vazão não conservativo, isto é, alterações no coeficiente “ $k$ ” fazem com que o volume total escoado no modelo se altere, podendo superar o volume precipitado mesmo para pequenas variações do coeficiente. Para simulações de longo prazo, como a da bacia de Zimbros, a adoção de um modelo de umidade do solo, naturalmente conservativo, que conectasse as perdas por infiltração com o escoamento de base seria ideal, mas impossível neste momento em face da escassez de dados locais.

Os coeficientes de recessão das bacias similares foram obtidos posicionando diversos períodos de recessão de determinada bacia sobre o mesmo gráfico e traçando-se a curva de recessão envoltória daquela bacia, conforme procedimento apresentado em Linsley *et al.* (1958).

O coeficiente de pico (*ratio-to-peak*) marca o momento no ramo de descensão dos hidrogramas em que a equação de recessão passa a regular o valor das vazões. Ele foi ajustado em cada bacia modelada de modo a melhorar a aderência entre dados medidos e modelados.

Em virtude da pequena área das bacias similares e, portanto do baixo tempo de concentração, poucas delas possuem dados com a discretização necessária para a modelagem chuva-vazão.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 5.4 Bacias Investigadas no Estudo de Regionalização

Na busca por bacias hidrográficas para a regionalização foram considerados os seguintes critérios:

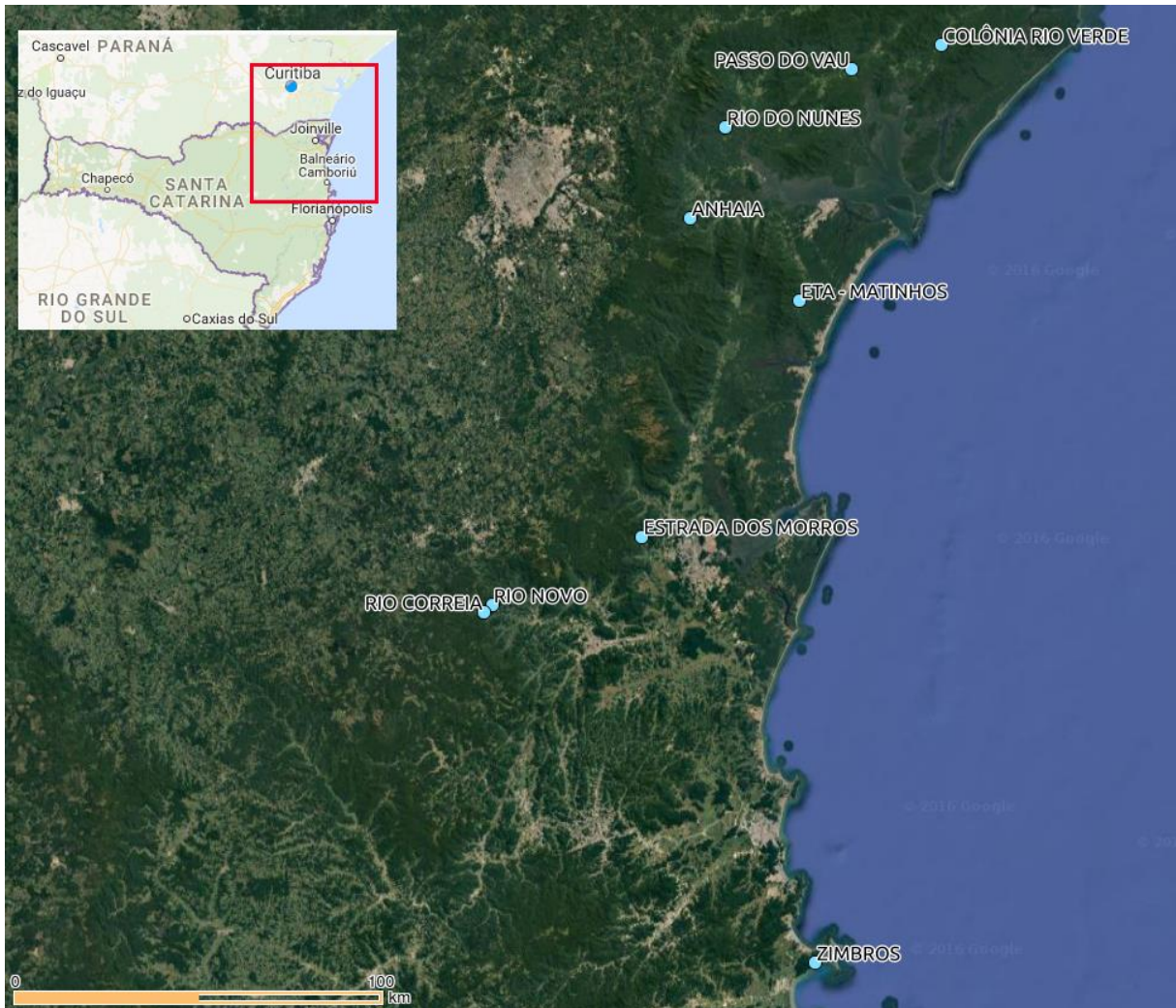
- Bacia com medições de vazão e de chuva;
- Menores áreas de bacia encontradas, limitadas a 100 km<sup>2</sup>;
- Cobertura integral ou quase integral de floresta;
- Localizadas na região Sul do Brasil, preferencialmente junto ao litoral.

Foram encontradas as bacias em cuja exutória estão localizadas as estações fluviométricas listadas na Tabela 3. A Figura 3 apresenta as posições de cada bacia e estação no mapa do Paraná e Santa Catarina.

**Tabela 3 – Estações fluviométricas escolhidas para o estudo de regionalização**

Bacia	Estação	Código	Área (km <sup>2</sup> )	Compr. Talvegue (km)	Elevação (m)		Declivi- dade (%)
					Exutória	Cabeceira	
1	Eta – Matinhos	82220000	12,3	5,9	696	15	11,5
2	Passo do Vau	82009080	99,3	32,7	1325	13	4,0
3	Colônia Rio Verde	82002000	93,6	22,6	667	14	2,9
4	Anhaia	82198000	57,2	15,3	876	66	5,3
5	Estrada dos Morros	82769800	37,2	12,8	879	103	6,0
6	Rio Novo	82290000	33,1	15,3	917	355	3,7
7	Rio Correia	82300000	69,5	24,0	953	685	1,11
8	Rio Nunes	82140700	28,9	10,1	1133	14	11,1

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

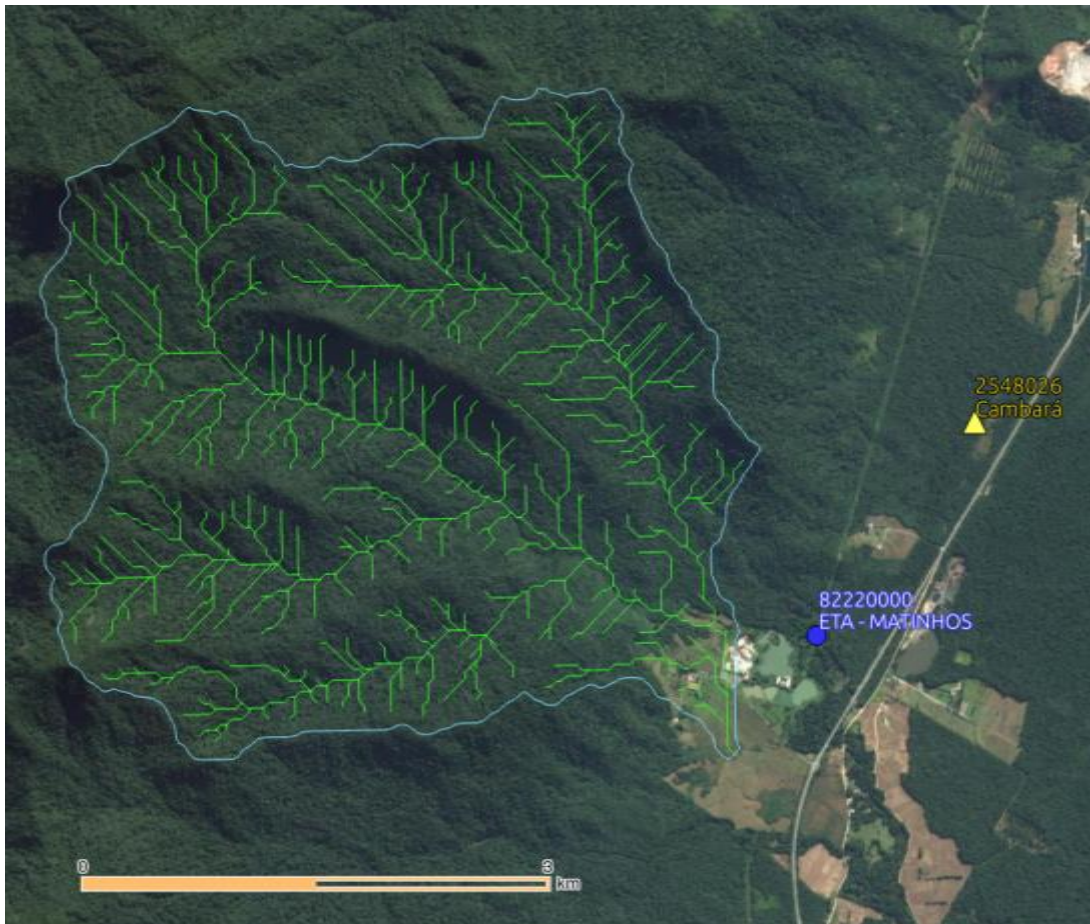


**Figura 3 – Bacias escolhidas para estudo de regionalização**

### **5.4.1 Bacia 1 – ETA Matinhos – Código ANA 82220000**

Esta bacia encontra-se no município de Paranaguá, estado do Paraná, e tem área de 12,3 km<sup>2</sup>. É a menor bacia com dados fluviométricos encontrada. A Figura ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas usadas. Nos mapas a seguir, estações em cor azul são fluviométricas e estações em cor amarela são pluviométricas.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 4 – Bacia 1 “ETA Matinhos”**

**Bacia 1 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre novembro de 1948 e julho de 1953, sem falhas. Há também vazões medidas entre junho de 2003 a novembro de 2009, com algumas falhas. A análise do fluviograma de vazões médias mensais indica o início do ano hidrológico em agosto.

**Bacia 1 – Chuvas medidas**

A estação pluviométrica Cambará (2548026) é a única próxima da bacia. Na página da ANA, há medições de chuva acumulada diária entre outubro de 1948 e julho de 1953, sem falhas.

A chuva média anual na bacia é 2462 mm.



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### **Bacia 1 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foram utilizados os dados de novembro de 1948 a julho de 1953. Para a série alcançar 5 anos hidrológicos completos, as vazões médias mensais de agosto a outubro de 1948 foram preenchidas com as médias históricas destes meses. O mesmo procedimento foi adotado para as chuvas acumuladas de agosto e setembro de 1948.

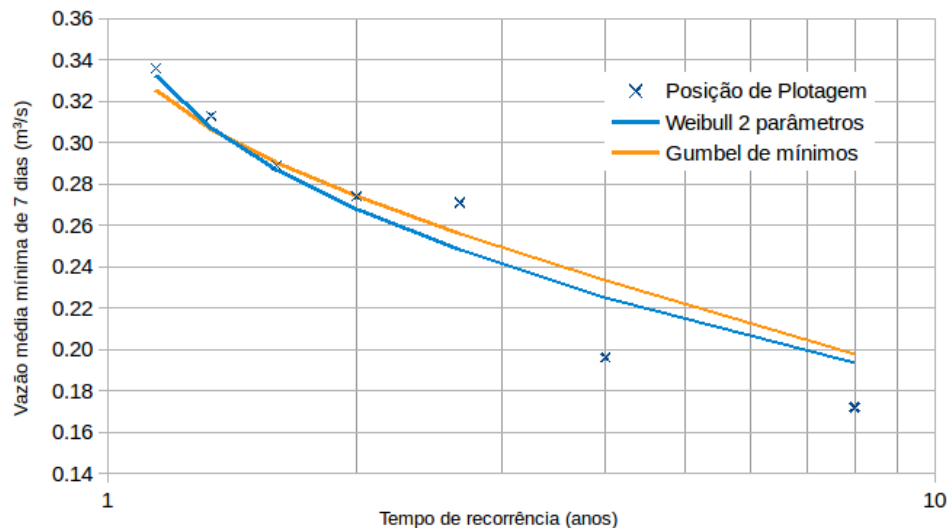
O coeficiente de deflúvio resultou 0,86.

### **Bacia 1 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

Para as curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foram utilizados os períodos de novembro de 1948 a julho de 1953 e de junho de 2003 a agosto de 2009, totalizando 11 anos.

### **Bacia 1 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foram utilizados os anos de 1948 a 1952 e 2006 a 2008. A Q7,10 resultou 0,185 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 5 apresenta os pontos de mínimas vazões médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

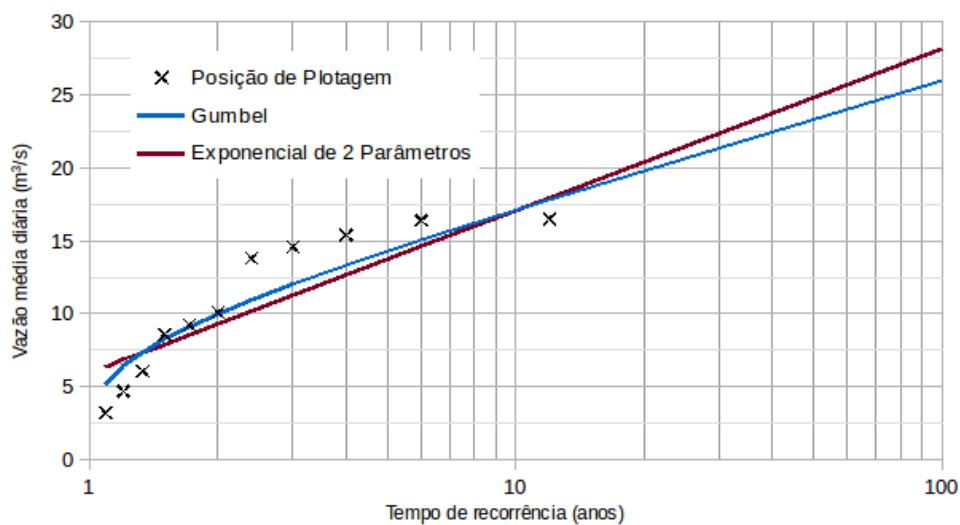


**Figura 5 – Bacia 1 “ETA Matinhos” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### **Bacia 1 – Vazões extremas**

No cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1948/49 a 1952/53 e de 2003/04 a 2008/09. O gráfico da Figura 6 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição de Gumbel.

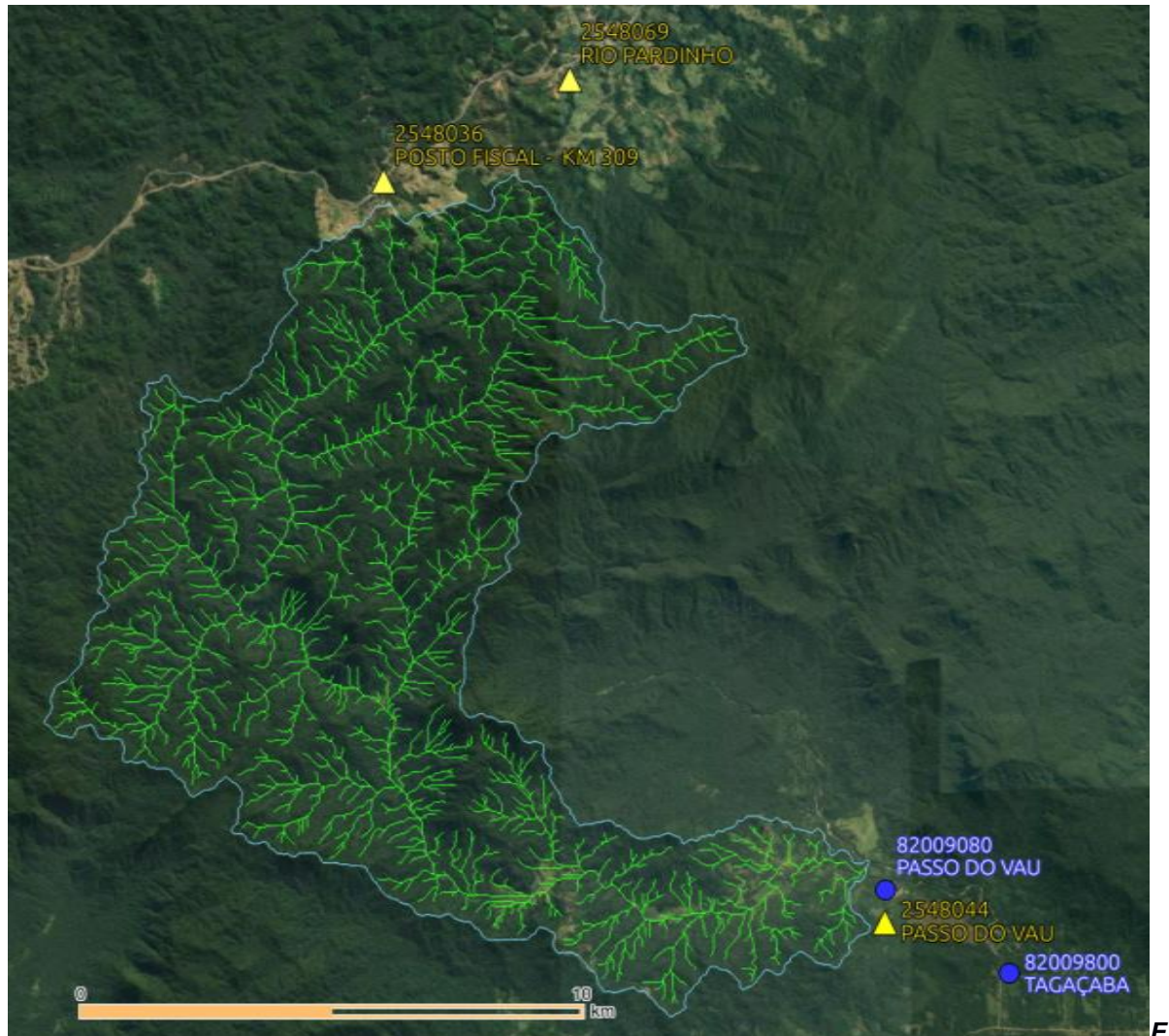


**Figura 6 – Bacia 1 “ETA Matinhos” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

### **5.4.2 Bacia 2 – Passo do Vau – Código ANA 82008090**

Esta bacia encontra-se no município de Guaraqueçaba, estado do Paraná, e tem área de 99,3 km<sup>2</sup>. Na base de dados GIS disponível na ANA, a estação fluviométrica Passo do Vau (82009080) está distante do leito do rio e numa posição incompatível com a área de drenagem indicada na mesma base de dados. Esta estação foi abandonada em 2015 devido a uma mudança natural no curso do rio e substituída pela estação Tagaçaba (82009800). O histórico da estação Tagaçaba afirma que esta foi instalada cerca de 4,5 km a jusante da antiga estação Passo do Vau. Para os fins deste trabalho, a estação Passo do Vau foi reposicionada com base na informação dos 4,5 km. A Figura 7 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



*Figura 7 – Bacia 2 “Passo do Vau”*

**Bacia 2 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA – Agência Nacional de Águas há medições de vazão média diária entre outubro de 1977 e dezembro de 2010, com falhas que afetam as médias mensais de 16 meses. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

**Bacia 2 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foi usada a média aritmética simples entre a estação pluviométrica Passo do Vau (2548044) e a estação pluviométrica Posto Fiscal (2548036). A estação pluviométrica Passo do Vau foi reposicionada da

## **ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

mesma forma que a estação fluviométrica. No período de interesse (1978 a 2010), a estação Passo do Vau não apresenta falhas mas possui 18 meses com dados estimados ou duvidosos. A estação Posto Fiscal apresenta 18 meses de falhas que foram preenchidas por correlação ( $R^2 = 0,84$ ) com a estação vizinha Rio Pardinho (2548069).

A chuva média anual na bacia é 2130 mm.

### **Bacia 2 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foram utilizados os dados de janeiro de 1978 a dezembro de 2010. As falhas nas vazões médias mensais foram preenchidas fazendo-se o volume escoado igual ao coeficiente de deflúvio multiplicado pela chuva no mês da falha. Como as vazões entram no cálculo do coeficiente de deflúvio, o processo é iterativo.

O coeficiente de deflúvio resultou 1,03.

Um coeficiente de deflúvio superior à unidade significa que o volume escoado foi superior ao precipitado, o que é possível para um período curto, pela diferença de armazenamento no solo, mas improvável no longo período considerado no cálculo. Uma hipótese plausível é que o divisor de águas freático não coincida com o divisor topográfico, fazendo com que a bacia capte mais água do que o volume calculado pelo divisor topográfico. Entretanto, no caso de Passo do Vau, o mais provável é que haja erro no posicionamento da estação e conseqüentemente na área da bacia, ou nos dados de vazão e precipitação. Como as curvas de permanência adimensionalizadas encontraram resultados semelhantes às das demais bacias, a maior probabilidade recai sobre o posicionamento da estação.

### **Bacia 2 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

No cálculo das curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foi utilizado o mesmo período usado para o cálculo do coeficiente de deflúvio.

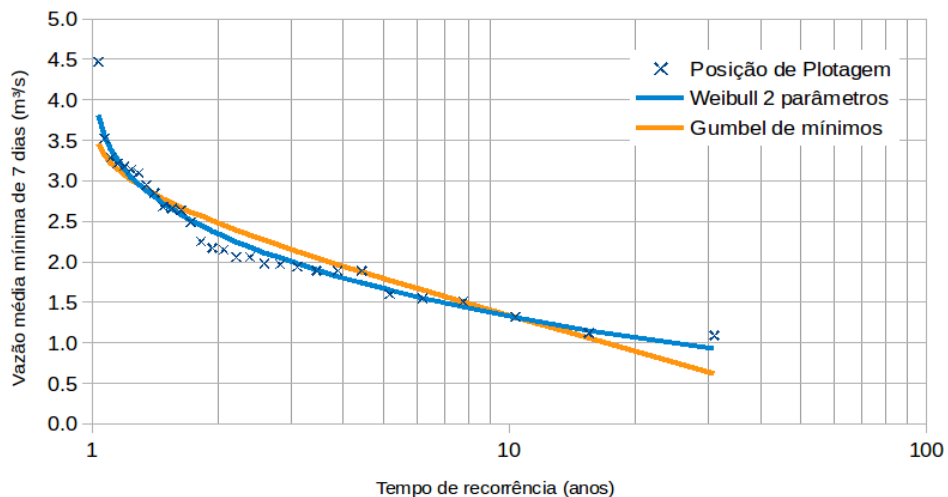
### **Bacia 2 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foi utilizado o período de 1978 a 2009, excluindo-se os anos de 1999 e 2008 que apresentaram falhas no período seco. A Q7,10



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

resultou 1,33 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 8 apresenta os pontos de vazões mínimas médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

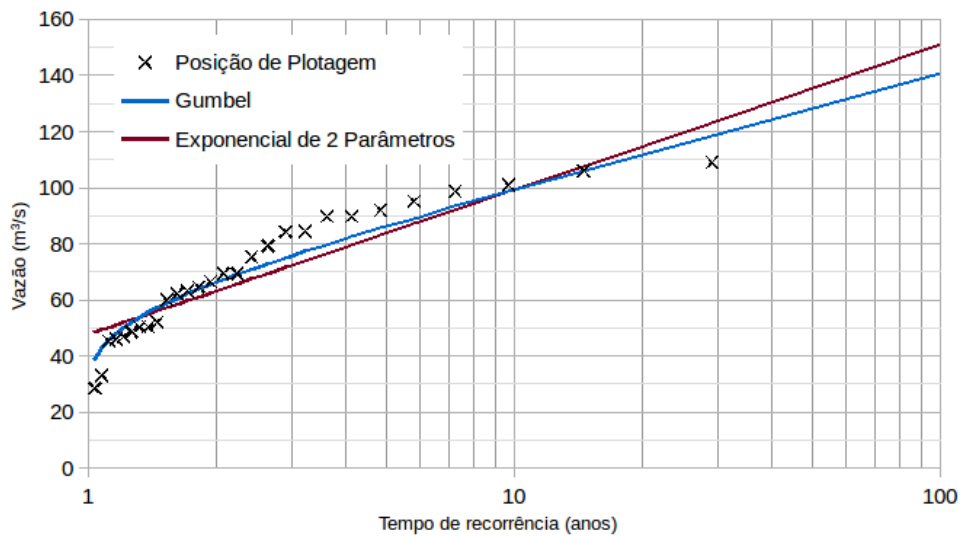


**Figura 8 – Bacia 2 “Passo do Vau” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

### **Bacia 2 – Vazões extremas**

No cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1978/79 a 2009/10, excluindo-se os anos de 1980/81, 1981/82, 1999/2000 e 2008/09 que apresentaram falhas no período úmido. O gráfico da Figura 9 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição de Gumbel.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



**Figura 9 – Bacia 2 “Passo do Vau” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

### 5.4.3 Bacia 3 – Colônia Rio Verde – Código ANA 82002000

Esta bacia encontra-se no município de Guaraqueçaba, estado do Paraná, e tem área de 93,6 km<sup>2</sup>. A Figura 10 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



*Figura 10 – Bacia 3 “Colônia Rio Verde”*

**Bacia 3 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre maio de 1992 e outubro de 2010. Os anos de 1994 a 2009 não apresentam falhas. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### **Bacia 3 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foi utilizada a estação pluviométrica rio Guaraqueçaba (2548042). Existem falhas nos meses de novembro de 2006 a maio de 2007, que foram preenchidas por correlação ( $R^2 = 0,95$ ) com a média entre os postos Bananal (2548043) e Guaraqueçaba (2548023).

A chuva média anual na bacia resultou 2727 mm.

### **Bacia 3 – Coeficiente de deflúvio**

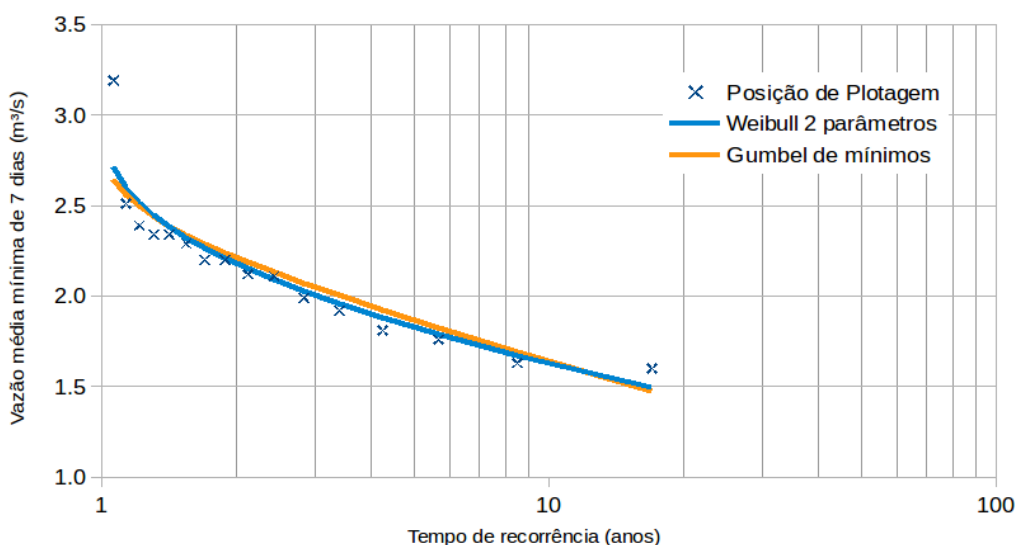
No cálculo do coeficiente de deflúvio, foram utilizados os dados de janeiro de 1994 a dezembro de 2009. O coeficiente de deflúvio resultou 0,76.

### **Bacia 3 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

No cálculo das curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foi utilizado o mesmo período usado para o cálculo do coeficiente de deflúvio.

### **Bacia 3 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foi adotado o mesmo período do cálculo do coeficiente de deflúvio. A Q7,10 resultou 1,63 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 11 apresenta os pontos de vazões mínimas médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

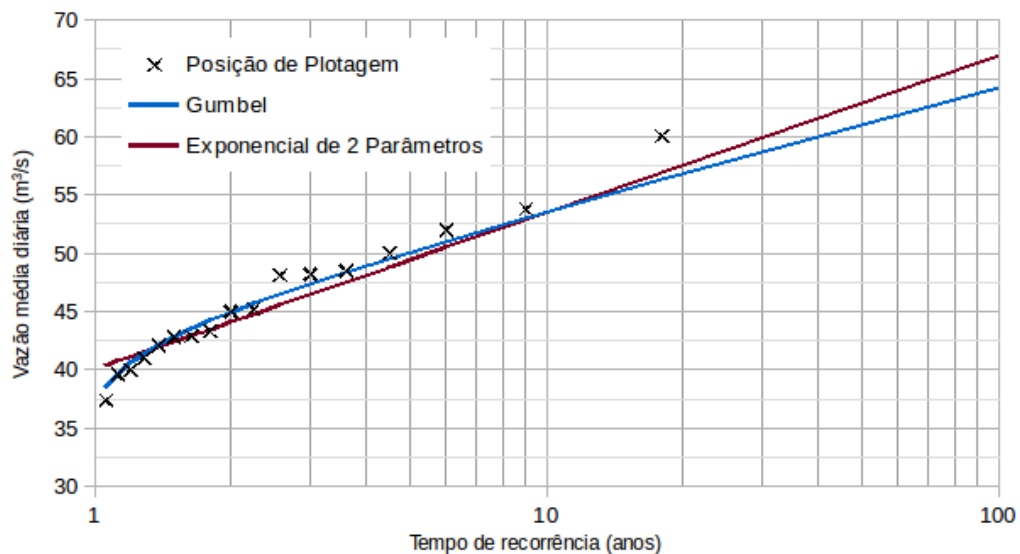


**Figura 11 – Bacia 3 “Colônia Rio Verde” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### **Bacia 3 – Vazões extremas**

No cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1993/94 a 2009/10. O gráfico da Figura 12 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição de Gumbel.



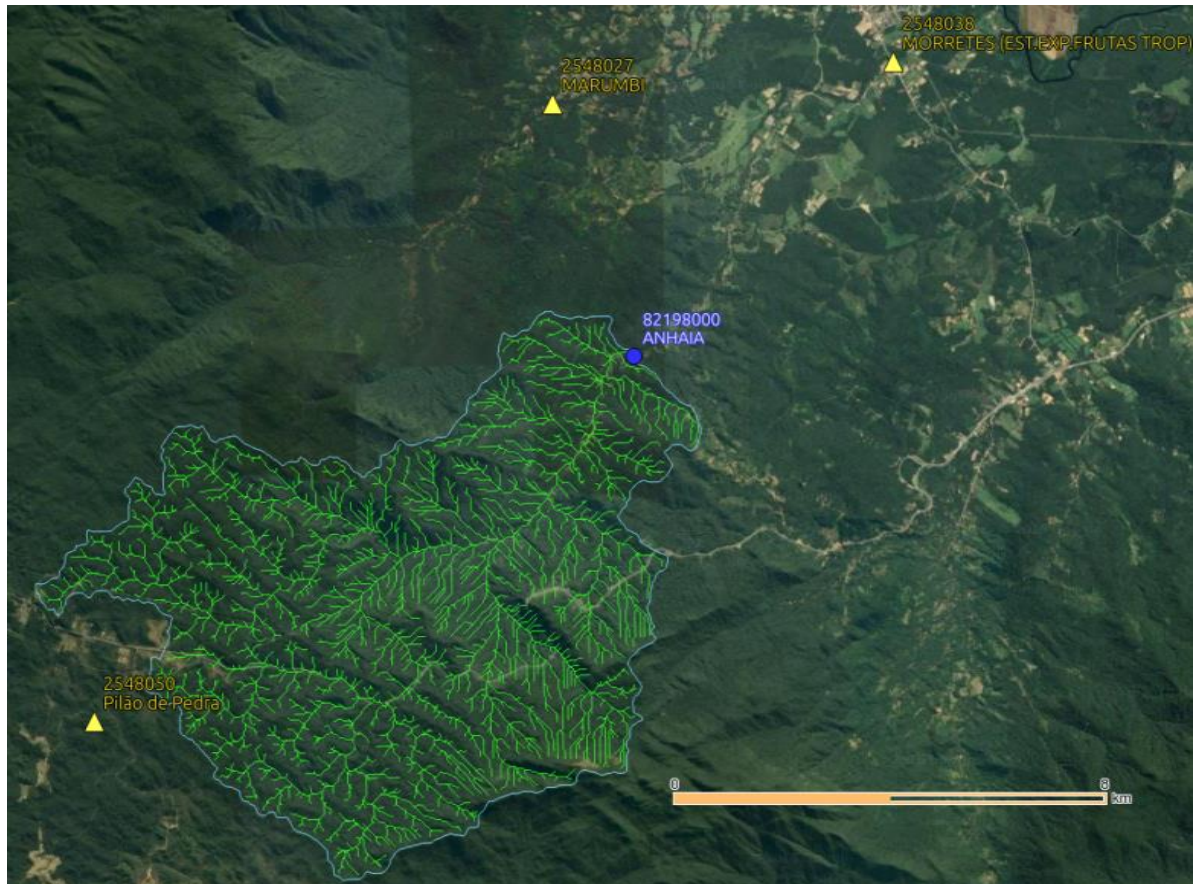
**Figura 12 – Bacia 3 “Colônia Rio Verde” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

#### **5.4.4 Bacia 4 – Anhaia – Código ANA 82198000**

Esta bacia encontra-se no município de Morretes, estado do Paraná, e tem área de 57,2 km<sup>2</sup>. A Figura 13 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.



**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 13– Bacia 4 “Anhaia”**

**Bacia 4 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre janeiro de 1992 e dezembro de 2010, com exceção de 2003 e dos meses de fevereiro a maio de 2004. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

A série de vazões desta estação apresentou problemas de estacionariedade e precisou ser recalculada a partir das cotas medidas na régua e de novas curvas-chave elaboradas com os resumos de descarga disponíveis na Hidroweb. Constatou-se que havia curvas-chave diferentes para três períodos de dados, e que não haviam sido consideradas na elaboração da série original disponível na página da ANA. Os detalhes desse processo foram omitidos aqui em benefício da concisão.

**Bacia 4 – Chuvas medidas**

## **ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA** **Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

Para definição das precipitações na bacia foram utilizadas as estações pluviométricas Pilão de Pedra (2548050), Marumbi (2548027) e Morretes Est. Exp. Frutas Trop. (2548038). As três estações apresentam correlações altas entre si ( $R^2$  acima de 0,93), que foram aplicadas no preenchimento das falhas encontradas. A chuva na bacia foi calculada pela média ponderada pelo inverso da distância de cada estação ao centro de massa da bacia.

A chuva média anual na bacia resultou 2009 mm.

### **Bacia 4 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foram utilizados os dados de janeiro de 1992 a dezembro de 2008. As falhas nas vazões médias mensais foram preenchidas fazendo-se o volume escoado igual ao coeficiente de deflúvio multiplicado pela chuva no mês da falha. Como as vazões entram no cálculo do coeficiente de deflúvio, o processo é iterativo.

O coeficiente de deflúvio resultou 0,93.

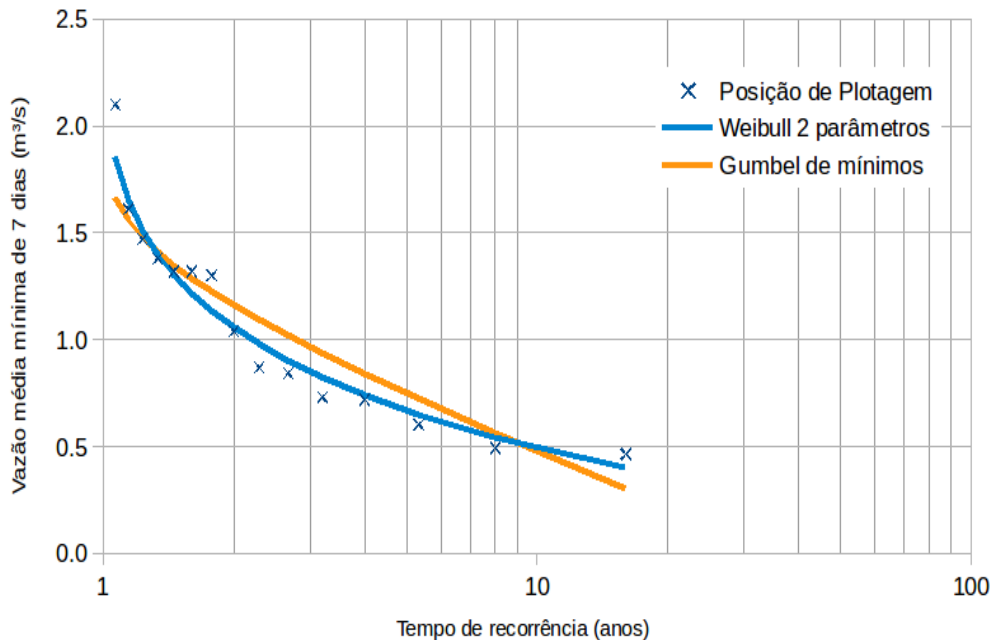
### **Bacia 4 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

No cálculo das curvas de permanência de vazões médias mensais foi utilizado o período de janeiro de 1992 a dezembro de 2010. Para médias diárias foram excluídos os anos de 2003 e 2004, que possuem poucos ou nenhum dado diário.

### **Bacia 4 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foram utilizados os anos de 1992 a 2010, excetuando-se 2003 e 2004. A Q7,10 resultou 0,49 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 14 apresenta os pontos de vazões mínimas médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



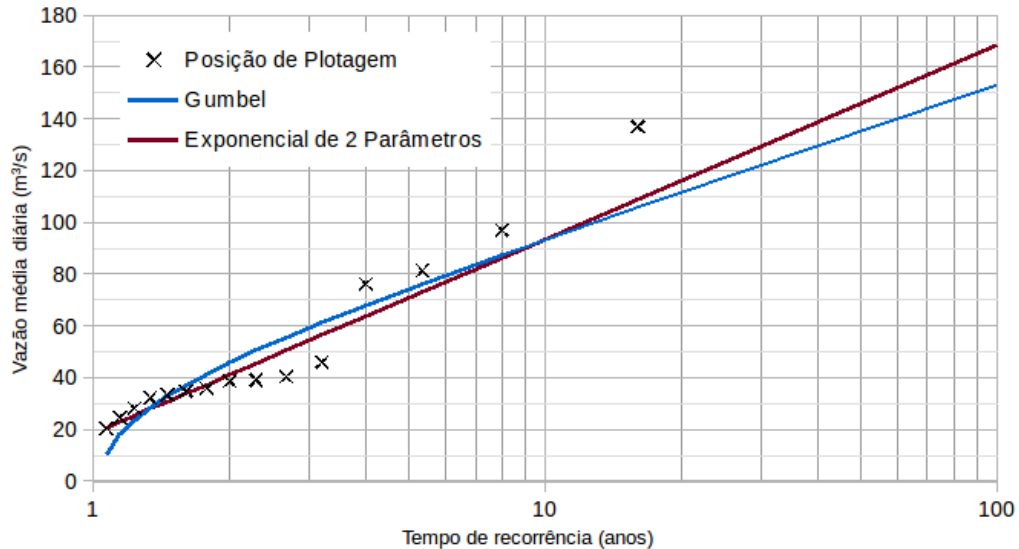
**Figura 14 – Bacia 4 “Anhaia” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

**Bacia 4 – Vazões extremas**

Para o cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1992/93 a 2001/02 e de 2005/06 a 2009/10. O gráfico da Figura 15 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição exponencial.



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

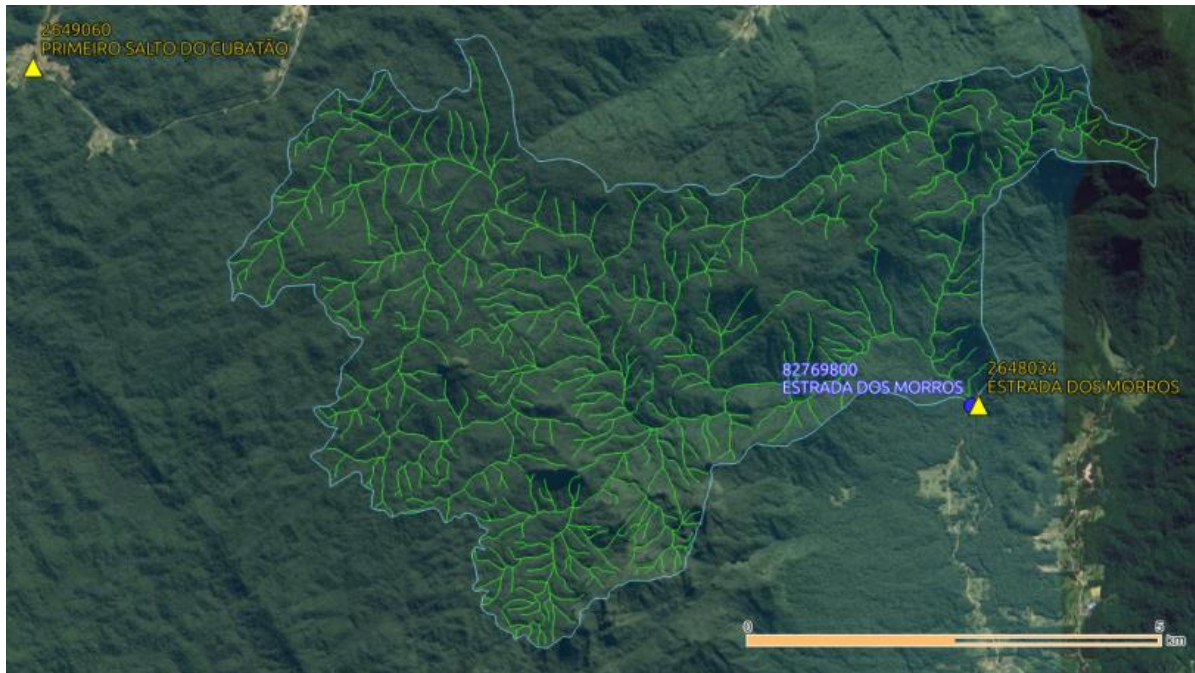


**Figura 15 – Bacia 4 “Anhaia” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

### 5.4.5 Bacia 5 – Estrada dos Morros – Código ANA 82769800

Esta bacia encontra-se no município de Joinville, estado de Santa Catarina, e tem área de 37,2 km<sup>2</sup>. A Figura 16 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



*Figura 16 – Bacia 5 “Estrada dos Morros”*

### **Bacia 5 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre maio de 1986 e dezembro de 2006, havendo diversos períodos com falhas. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

### **Bacia 5 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foram utilizadas as estações pluviométricas Estrada dos Morros (2648034) e Primeiro Salto do Cubatão (2649060). A estação Primeiro Salto do Cubatão não apresenta falhas no período de interesse. A estação Estrada dos Morros apresenta falhas em três meses, que foram preenchidas por correlação ( $R^2 = 0,92$ ) com a outra estação. Para a chuva na bacia foi adotada a média ponderada pelo inverso da distância de cada estação ao centro de massa da bacia.

A chuva média anual resultou 2936 mm.

### **Bacia 5 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foram utilizados os dados de janeiro de 1987 a dezembro de 2000. Os 14 meses com falhas nas vazões médias mensais

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

foram preenchidos fazendo-se o volume escoado igual ao coeficiente de deflúvio multiplicado pela chuva no mês da falha, iterativamente.

O coeficiente de deflúvio resultou 0,59.

### **Bacia 5 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

No cálculo das curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foi adotado o mesmo período do coeficiente de deflúvio. As falhas diárias, por se distribuírem de modo aproximadamente equilibrado ao longo do ano, foram simplesmente excluídas do cálculo.

Existem períodos superiores há um mês em que a vazão medida varia de 0 a 0,04 m<sup>3</sup>/s e com um mesmo valor presente em vários dias consecutivos. A vazão de 0,04 m<sup>3</sup>/s representa 2% da vazão média de longo termo, o que parece bastante improvável quando observamos a vazão Q<sub>7,10</sub> adimensionalizada de outras bacias (Tabela 3).

A forma da curva de permanência desta bacia também diferiu muito da forma das demais (

Figura 26).

Estes prováveis erros em medições de vazões baixas explicam o coeficiente de deflúvio baixo desta bacia em relação aos coeficientes das outras bacias (Tabela 4).

### **Bacia 5 – Vazão Q<sub>7,10</sub>**

Não foi possível realizar o cálculo da Q<sub>7,10</sub> em virtude da quantidade de valores duvidosos nas medições de vazões baixas, conforme explicado no item anterior. A vazão Q<sub>7,10</sub> seria nula.

### **Bacia 5 – Vazões extremas**

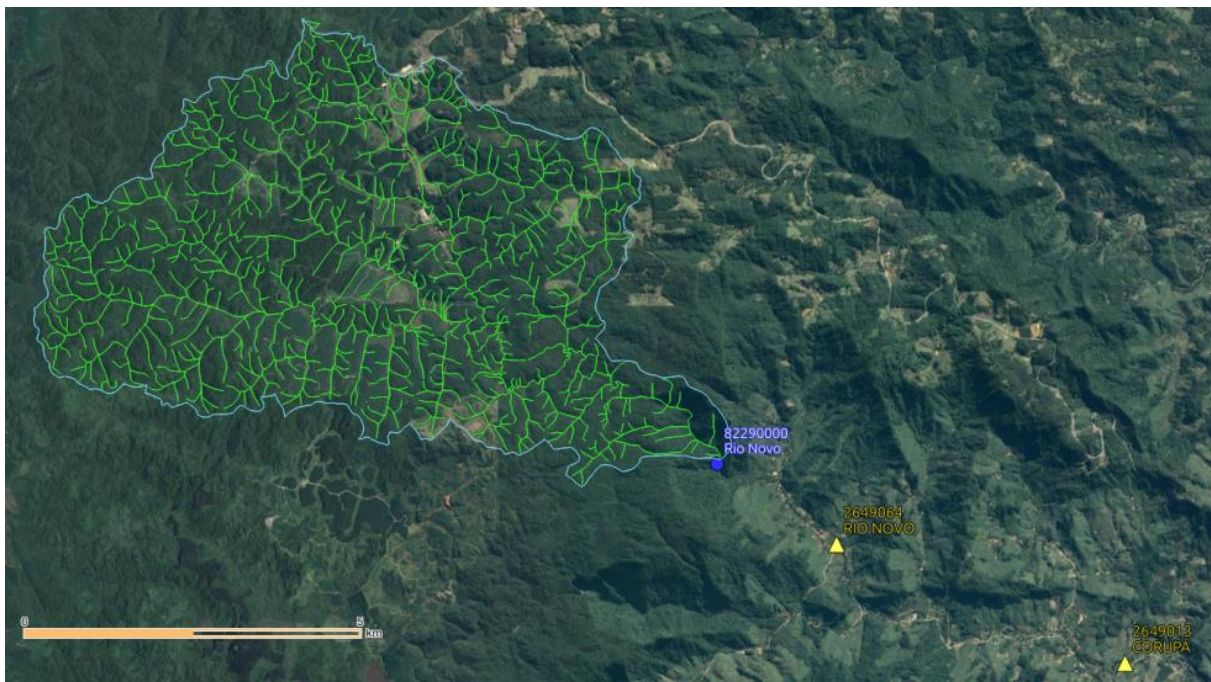
Em vista das dúvidas sobre a qualidade das vazões medidas, não foram calculadas vazões extremas para esta bacia.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 5.4.6 *Bacia 6 – Rio Novo – Código ANA 82290000*

Esta bacia encontra-se no município de Corupá, estado de Santa Catarina, e possui área de 33,1 km<sup>2</sup>. A Figura 17 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

A bacia do Rio Novo encontra-se afastada do litoral, numa região em que a foto de satélite atual mostra uma parcela de áreas cultivadas muito superior às parcelas das demais bacias. Todavia, os dados de vazão e chuva são da década de 1940, quando a intervenção do homem era inferior à atual. Com isso em mente, e considerando-se a baixa disponibilidade de bacias com áreas menores que 50 km<sup>2</sup>, optou-se por incluir a bacia do Rio Novo nos cálculos e gráficos do estudo de regionalização, sem se perder de vista as diferenças que a afastam, em termo de similaridade hidrológica, da bacia de Zimbros.



**Figura 17 – Bacia 6 “Rio Novo”**

### **Bacia 6 – Vazões medidas**



## **ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA** **Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre janeiro de 1943 e novembro de 1950, com falhas nos últimos 4 meses de 1943. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

### **Bacia 6 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foram utilizadas as estações pluviométricas Corupá (2649013) e Rio Novo (2649064). A estação Rio Novo, mais próxima da exutória, poderia ser utilizada diretamente para fornecer a chuva na bacia de 33 km<sup>2</sup>. Como o período de chuvas medidas em Rio Novo não abrange os anos de 1943 a 1950, foram transferidas as chuvas de Corupá, cuja regime pluviométrico é praticamente o mesmo. A reta de correlação ( $R^2 = 0,94$ ) entre Corupá e Rio Novo, em 16 anos de medições simultâneas, tem coeficiente de declividade de 1,012.

A chuva média anual na bacia resultou 1852 mm.

### **Bacia 6 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foi utilizado o período de janeiro de 1946 a dezembro de 1950, que possui dados simultâneos de chuva e vazão. A vazão média de dezembro de 1950 foi preenchida a partir da chuva do mês e do coeficiente de deflúvio do período integral, iterativamente.

O coeficiente de deflúvio resultou 0,80.

### **Bacia 6 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

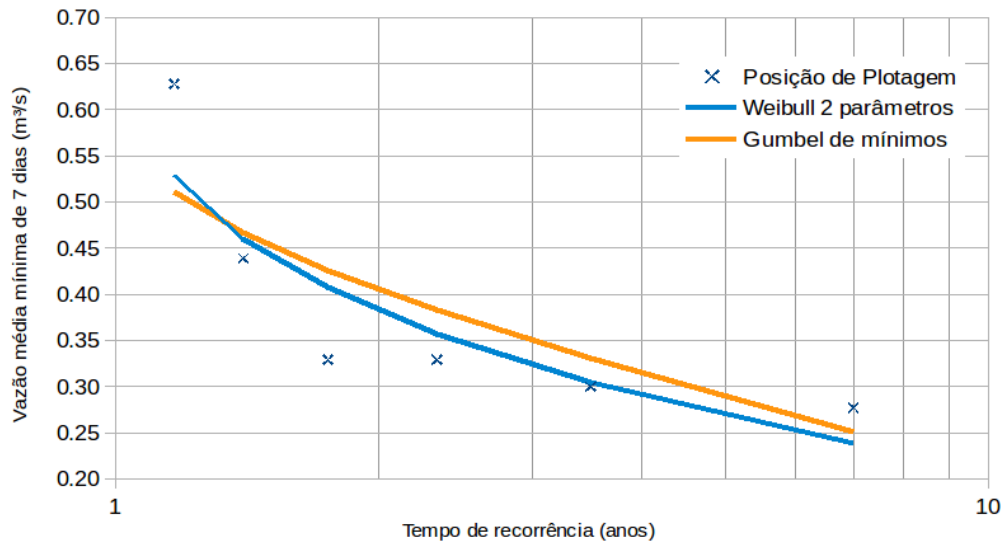
Para as curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foi utilizado o período de janeiro de 1944 a dezembro de 1950.

### **Bacia 6 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foram utilizados os anos de 1944 a 1950, exceto o ano de 1948, que apresentava um período de recessão com formato e vazões muito diferentes dos outros períodos de recessão do histórico, sem que houvesse evento semelhante na bacia 8 “Rio Correia”, adjacente a ela.

A Q7,10 resultou 0,211 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 18 apresenta os pontos de vazões mínimas médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

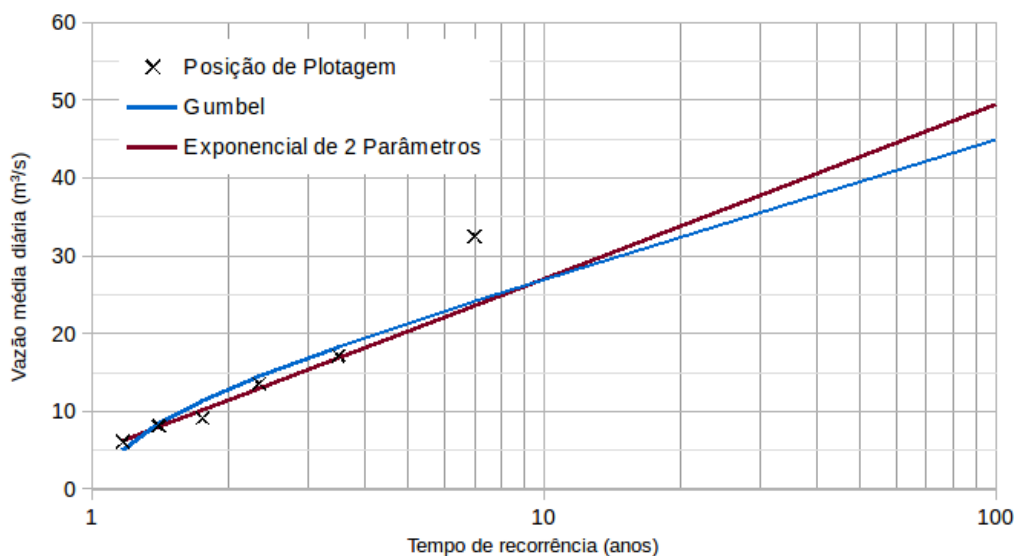


**Figura 18 – Bacia 6 “Rio Novo” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

**Bacia 6 – Vazões extremas**

No cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1944/45 a 1949/50. O gráfico da Figura 19 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição exponencial.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



**Figura 19 – Bacia 6 “Rio Novo” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

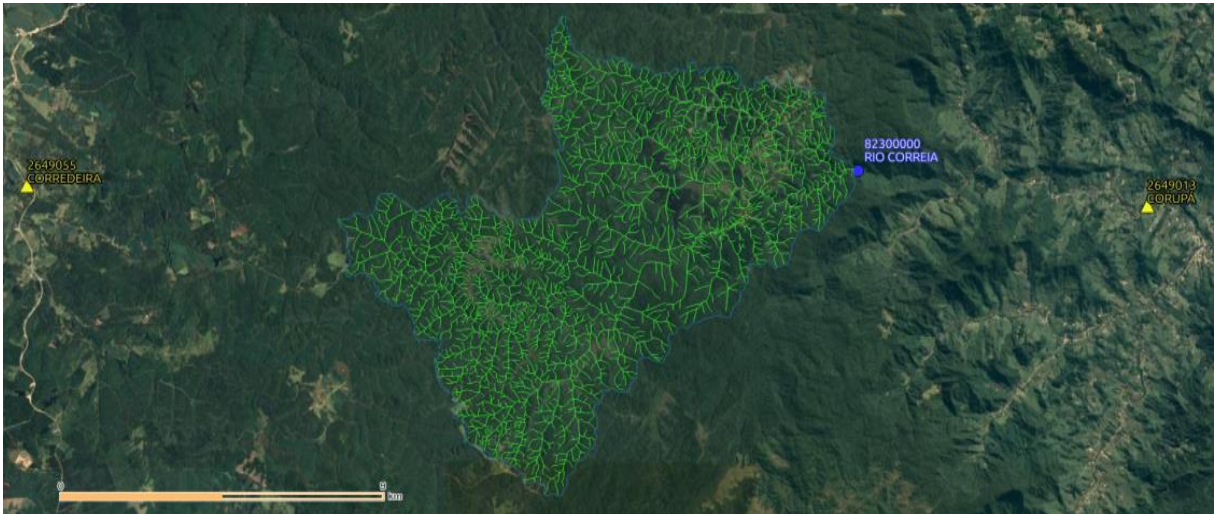
### **5.4.7 Bacia 7 – Rio Correio – Código ANA 82300000**

Esta bacia encontra-se no município de Corupá, estado de Santa Catarina, e possui área de 69,5 km<sup>2</sup>. A Figura 20 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

A bacia do Rio Correia é adjacente à bacia do Rio Novo e valem aqui as mesmas considerações efetuadas para ela.

Há um barramento com um pequeno reservatório ( $A = 0,2 \text{ km}^2$ ) nesta bacia mas não foi possível verificar se o barramento existia no período de vazões utilizado neste estudo.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



*Figura 20 – Bacia 7 “Rio Correia”*

### **Bacia 7 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre maio de 1943 e novembro de 1950. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

### **Bacia 7 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foram utilizadas as estações pluviométricas Corupá (2649013) e Corredeira (2649055). A estação Corredeira não possui chuvas medidas entre 1943 e 1950 mas possui 25 anos de medições em comum com a estação Corupá, o que permite estabelecer-se uma reta de correlação ( $R^2 = 0,89$ ) em que as chuvas de Corredeira são 0,75 vezes as chuvas de Corupá. A chuva na bacia foi calculada como a média aritmética das precipitações nas duas estações.

A chuva média anual na bacia resultou 1642 mm.

### **Bacia 7 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foi utilizado o período de janeiro de 1946 a dezembro de 1950, que possui dados simultâneos de chuva e vazão. A vazão média de dezembro de 1950 foi preenchida a partir da chuva do mês e do coeficiente de deflúvio do período integral, iterativamente.

O coeficiente de deflúvio resultou 0,61.



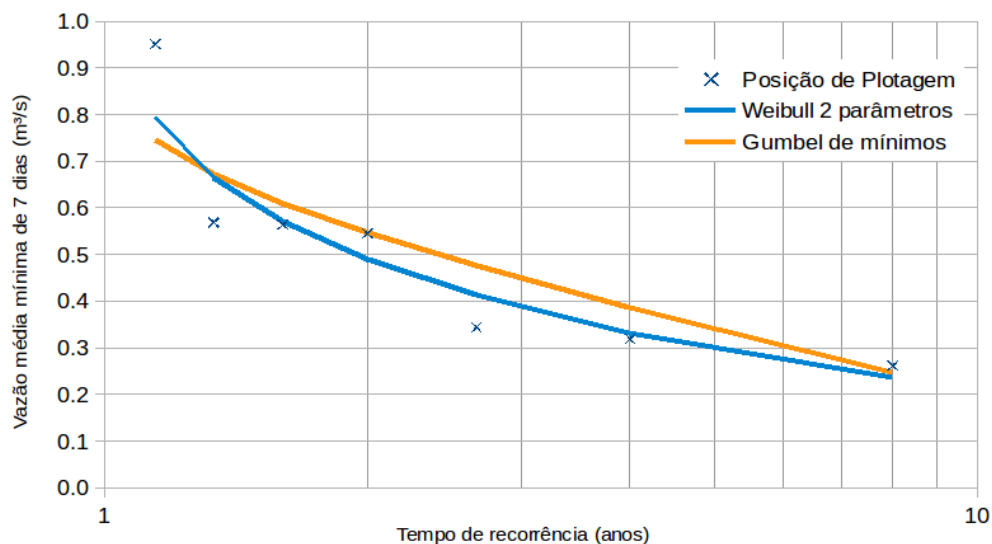
## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### **Bacia 7 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

Para as curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias foi utilizado o período de janeiro de 1944 a dezembro de 1950.

### **Bacia 7 – Vazão Q7,10**

No cálculo da vazão Q7,10, foram utilizados os anos de 1944 a 1950. A Q7,10 resultou 0,213 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull. O gráfico da Figura 21 apresenta os pontos de vazões mínimas médias de 7 dias e as distribuições de mínimas ajustadas.

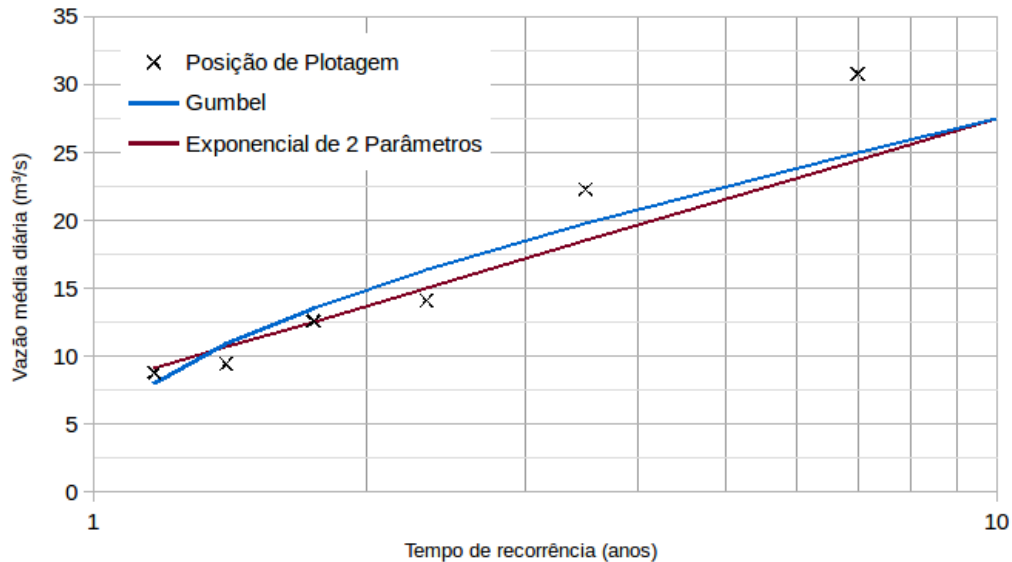


**Figura 21 – Bacia 7 “Rio Correia” – Ajuste estatístico de vazões Q7**

### **Bacia 7 – Vazões extremas**

No cálculo das vazões extremas, foram utilizados os anos hidrológicos de 1944/45 a 1949/50. O gráfico da Figura 22 apresenta os pontos de vazões máximas anuais e as distribuições de máximas ajustadas, sendo adotada a distribuição de Gumbel.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



**Figura 22 – Bacia 7 “Rio Correia” – Ajuste estatístico de vazões extremas**

### 5.4.8 Bacia 8 – Rio Nunes – Código ANA 82140700

Esta bacia encontra-se no município de Antonina, estado do Paraná, e possui área de 28,9 km<sup>2</sup>. A Figura 23 ilustra os limites da bacia, sua hidrografia e as estações hidrométricas envolvidas no estudo.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 23 – Bacia 8 “Rio Nunes”**

**Bacia 8 – Vazões medidas**

Na página de internet da ANA, há medições de vazão média diária entre agosto de 2006 e abril de 2015, com falhas em 12 meses. As falhas foram preenchidas com dados obtidos na página de internet do Instituto das Águas do Paraná. A análise do fluviograma indica o início do ano hidrológico em agosto.

**Bacia 8 – Chuvas medidas**

Para definição das precipitações na bacia foram utilizadas as estações pluviométricas São João da Graciosa (2548047) e Colônia do Cachoeira (2548003). A estação Colônia do Cachoeira possui dados de junho de 1947 a dezembro de 2015 sem falhas no período de interesse e a estação São João da Graciosa, de junho de

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

1974 a dezembro de 1975, com falhas em seis meses, que foram preenchidas por correlação ( $R^2 = 0,94$ ) com Colônia do Cachoeira. Adotou-se a média ponderada pelo inverso da distância de cada estação ao centro de massa da bacia.

A chuva média anual resultou 2858 mm.

### **Bacia 8 – Coeficiente de deflúvio**

No cálculo do coeficiente de deflúvio, foi utilizado o período de janeiro de 2007 a dezembro de 2014.

O coeficiente de deflúvio resultou 1,13.

Cabem aqui as mesmas considerações feitas na Bacia 2 “Passo do Vau” quanto ao fato do coeficiente de deflúvio superar a unidade.

### **Bacia 8 – Curvas de permanência de vazões médias mensais e diárias**

Para as curvas de permanência de vazões médias mensais e foram utilizados os mesmos dados usados no cálculo do coeficiente de deflúvio. Para permanência de médias diárias o período foi restringido a 2007 a 2011, que apresenta menos falhas.

A curva de permanência de médias mensais desta estação, juntamente à da bacia Estrada dos Morros, afastou-se da tendência geral no trecho com vazões acima de 50% de permanência (

Figura 26).

### **Bacia 8 – Vazão Q7,10**

Decidiu-se não estimar a Q7,10 desta estação em virtude dos resultados duvidosos do coeficiente de deflúvio e da curva de permanência.

### **Bacia 8 – Vazões extremas**

Não foram estimadas as vazões extremas desta estação em vista dos resultados duvidosos do coeficiente de deflúvio e das curvas de permanência.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

**5.5 Resultados da Regionalização**

**5.5.1 Coeficientes de Deflúvio, Vazões Mínimas e Máximas**

A Tabela 4 apresenta os valores resultantes, em cada bacia, de vazão média de longo termo, precipitação média anual, coeficiente de deflúvio, vazão mínima de 7 dias de duração com recorrência de 10 anos (Q7,10) e vazões de cheia de 10, 100 e 1000 anos de recorrência. As vazões Q7,10 e de cheia são mostradas também na forma adimensionalizada pela vazão média de longo termo (Qmlt).

**Tabela 4 – Resultados das variáveis hidrológicas nas bacias similares**

Bacia	Estação	Nº de anos	Qmlt (m³/s)	Precip. média anual (mm)	Coef. de deflúvio	Qesp (l/s/km²)	Vazões de cheia								
							Q7,10 (m³/s)	Q7,10 adim.	Nº de anos	Q10 (m³/s)	Q100 (m³/s)	Q1000 (m³/s)	Q10 adim.	Q100 adim.	Q1000 adim.
1	ETA – Matinhos	5	0,81	2445	0,86	66	0,185	0,23	11	17	26	35	21	32	43
2	Passo do Vau	33	6,88	2130	1,03	69	1,330	0,19	28	99	141	181	14	20	26
3	Colônia Rio Verde	16	6,17	2727	0,76	66	1,628	0,26	17	54	64	75	9	10	12
4	Anhaia	17	3,39	2009	0,93	59	0,491	0,14	15	93	168	243	28	50	72
5	Estrada dos Morros	14	2,05	2936	0,59	55	--	--	--	--	--	--	--	--	--
6	Rio Novo	5	1,55	1852	0,80	47	0,211	0,14	6	27	49	72	17	32	46
7	Rio Correia	5	2,20	1642	0,61	32	0,213	0,10	6	28	43	59	12	20	27
8	Rio Nunes	8	2,93	2858	1,13	102	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Obs.: - Qmlt = vazão média de longo termo

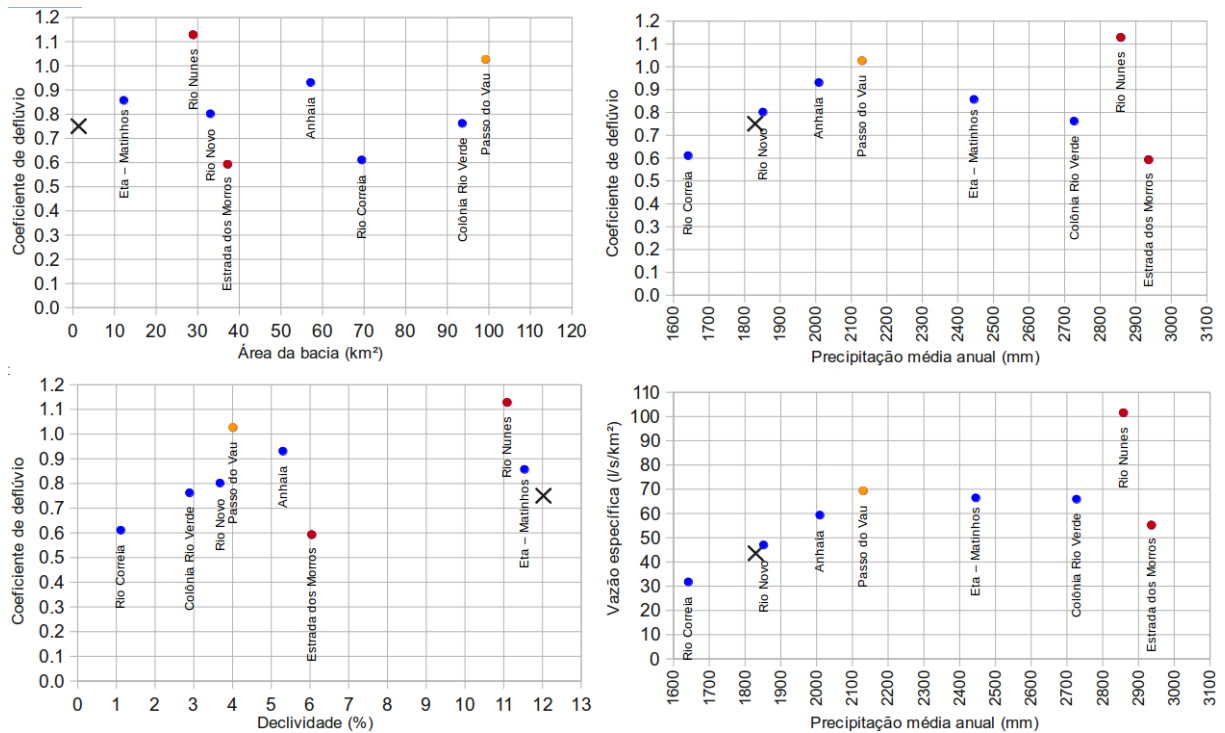
- Q7,10 adimensional = Q7,10 / Qmlt

- Q10, Q100 e Q1000 = vazões de 10, 100 e 1000 anos de recorrência

- Q10 adimensional = Q10 / Qmlt

Utilizando-se valores das Tabela 2 e da Tabela 4, foram criados diversos gráficos de modo expedito, com o intuito de gerar equações de regionalização. A dispersão revelada nos gráficos foi alta. A Figura 24 apresenta alguns destes gráficos, com as bacias cujos dados são duvidosos marcadas em cor vermelha e amarela.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



**Figura 24– Coeficientes de deflúvio e vazões específicas das bacias em função de parâmetros hidrológicos. A marcação em “X” indica a posição adotada para a bacia de Zimbros.**

Os três primeiros gráficos da Figura 24 mostram os coeficientes de deflúvio em função da área da bacia, precipitação média anual e declividade média. Não se distingue um padrão claro de variação que permita o estabelecimento de uma curva de tendência, com equação e coeficiente de determinação. Aparentemente, as variações introduzidas por inconsistências nos dados de entrada de vazões e chuvas das estações superam, e por isso mascaram, a tendência numérica de variação do coeficiente de deflúvio.

Entretanto, a quantidade de bacia analisadas permite a distinção de uma tendência central e assim, a adoção de um valor para o coeficiente de deflúvio da bacia de Zimbros que se encaixa, ao menos visualmente, nos dados obtidos do estudo das oito bacias. Não se deve perder de vista que as bacias “Rio Novo” e “Rio Correia” apresentam coberturas de solo que se afastam da característica de Zimbros de cobertura integral de mata.

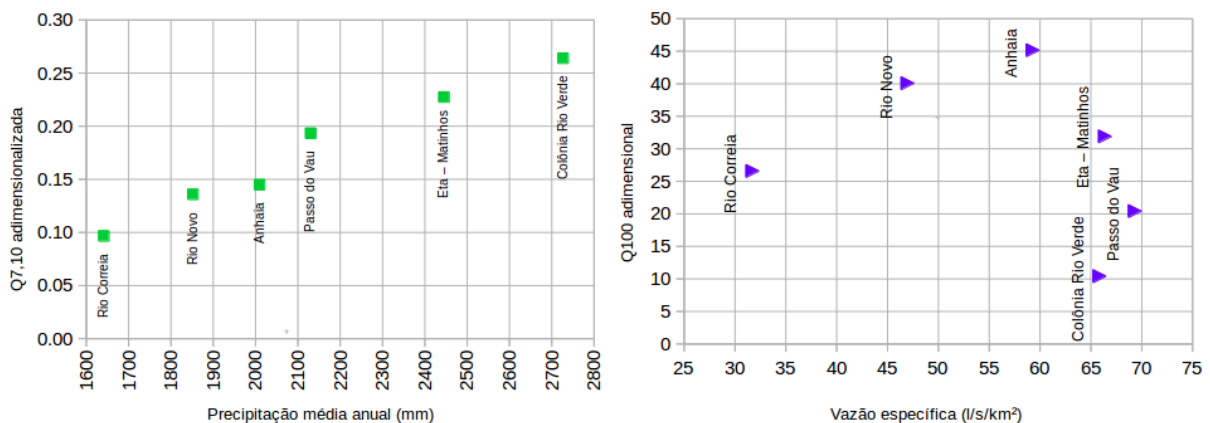


## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

No quarto gráfico da Figura 24, que mostra a variação da vazão específica em função da precipitação média anual, uma curva de tendência considerando-se os pontos azuis fica mais aparente, o que é natural, pois a correlação entre os dois parâmetros é sempre bem marcada.

O ponto adotado para a bacia de Zimbros – coeficiente de deflúvio de 0,75 – é indicado pela marca “X” nos gráficos da Figura 24. Possivelmente, valores entre 0,65 e 0,85 seriam também razoáveis. Com o coeficiente de deflúvio de 0,75 e a precipitação média anual (item 4.6) foi estimada a vazão média de longo termo de Zimbros em 0,060 m<sup>3</sup>/s.

Na Figura 25 se enxerga uma curva de tendência para a vazão Q7,10 adimensionalizada mas não se percebe nem mesmo uma tendência central para a vazão Q100 adimensionalizada. As vazões mínimas e de cheia da bacia de Zimbros serão obtidas do modelo chuva-vazão e lançadas nestes gráficos, no item 6.7.7.



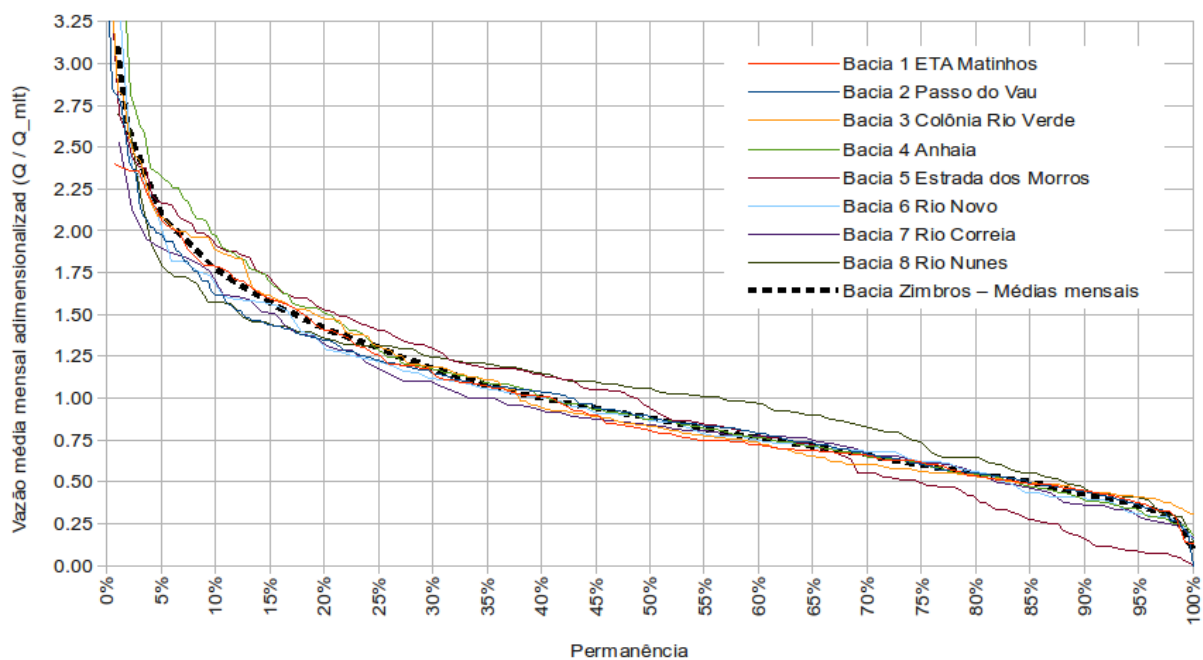
**Figura 25 – Vazões Q7,10 e Q100 adimensionalizadas das bacias similares**

### 5.5.2 Curvas de Permanência

A

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

Figura 26 apresenta as curvas de permanência adimensionalizadas das bacias 1 a 8. A dispersão entre os resultados foi considerada baixa, particularmente para permanências superiores a 50%. Fogem da tendência geral as curvas das bacias “Estrada dos Morros” e “Rio Nunes”, que já revelavam problemas nos dados de entrada anteriormente. Desconsiderando-se estas duas bacias, é possível traçar uma curva de permanência média, indicada em linha preta tracejada, que foi adotada para Zimbros.

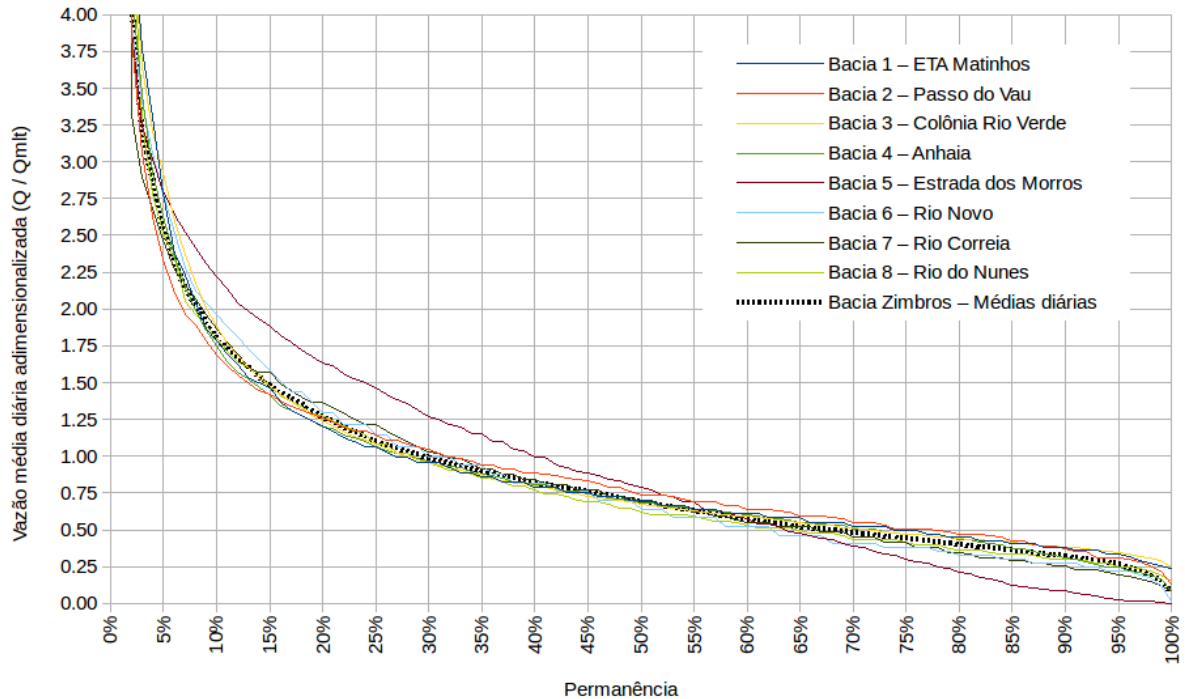


**Figura 26 – Curvas de permanência de vazões médias mensais adimensionalizadas**

Os mesmos procedimentos e considerações foram feitos para as curvas de permanência de vazões médias diárias, mostradas na

Figura 27. A similaridade entre as diferentes bacias foi maior do que a similaridade para médias mensais. O fato de que as curvas de permanência para área de ~100 km<sup>2</sup> (Passo do Vau e Colônia Rio Verde) e de ~10 km<sup>2</sup> (ETA Matinhos) têm comportamento semelhante mesmo com uma redução de 10 vezes, é uma indicação de que na transferência de 10 km<sup>2</sup> para 1 km<sup>2</sup> (Zimbros) as curvas de permanência devem se manter.

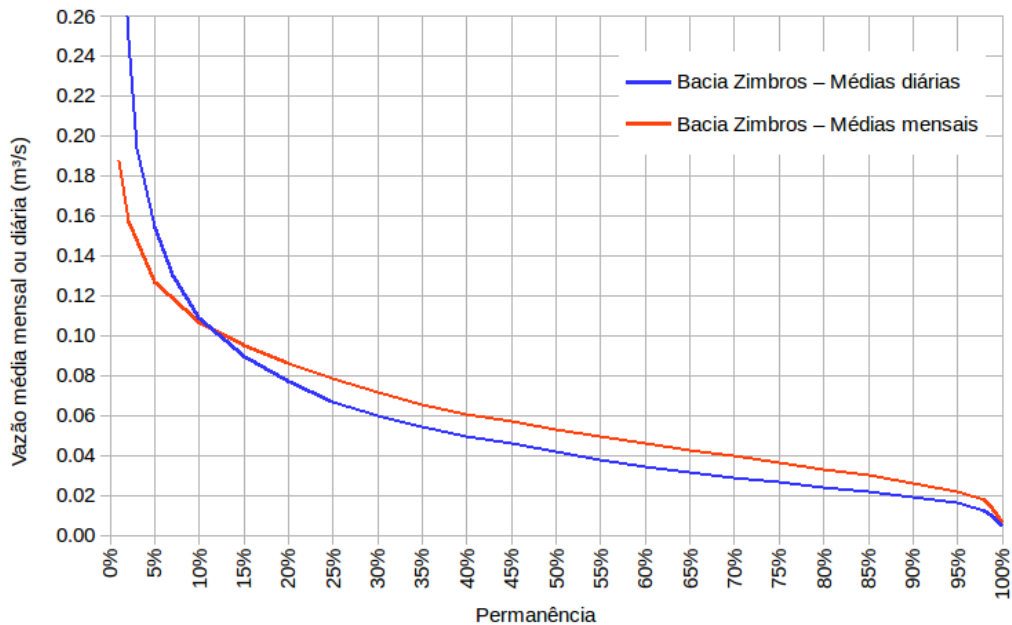
**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 27 – Curvas de permanência de vazões médias diárias adimensionalizadas**

Multiplicando-se as ordenadas das curvas adimensionalizadas pela vazão média de longo termo, foram obtidas as curvas de permanência finais para a bacia de Zimbros, listadas na Tabela 5 e ilustradas na Figura 28.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 28 – Curvas de permanência de vazões médias diárias e mensais na bacia de Zimbros**

**Tabela 5 – Permanências de vazões médias mensais e diárias da bacia de Zimbros**

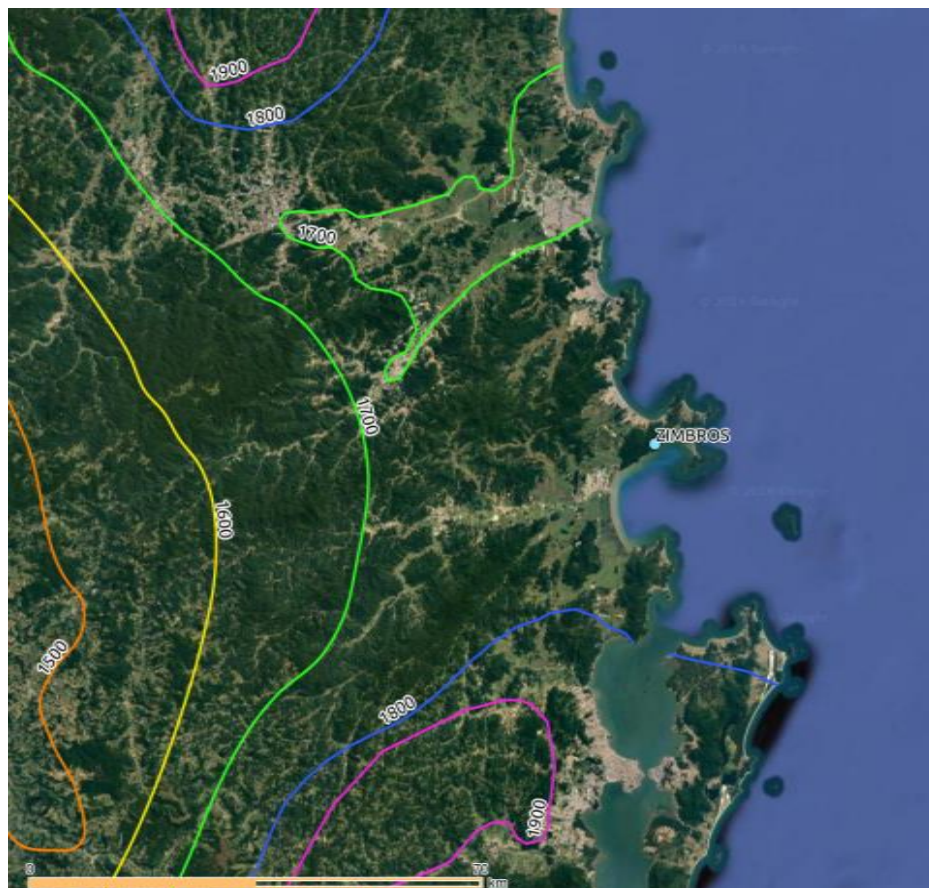
Permanência	Qmensal (m³/s)	Qdiária (m³/s)	Permanência	Qmensal (m³/s)	Qdiária (m³/s)
1%	0,188	0,726	55%	0,050	0,038
2%	0,157	0,248	60%	0,046	0,034
5%	0,127	0,154	65%	0,043	0,031
10%	0,107	0,109	70%	0,040	0,029
15%	0,095	0,090	75%	0,036	0,027
20%	0,086	0,077	80%	0,033	0,024
25%	0,079	0,067	85%	0,030	0,022
30%	0,071	0,060	90%	0,026	0,019
35%	0,065	0,054	95%	0,022	0,016
40%	0,060	0,050	98%	0,018	0,012
45%	0,057	0,046	99%	0,013	0,010
50%	0,053	0,042	100%	0,006	0,005

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 5.6 Determinação das Chuvas na Bacia de Zimbros

Na regionalização de 2006 do governo de Santa Catarina (item 5.1), foram geradas isoietas a partir de 234 postos pluviométricos no estado. O estudo mostra uma isoietas de 1500 mm sobre o município de Governador Celso Ramos, próximo da bacia de Zimbros.

A CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais disponibiliza um mapa de isoietas anuais formado com dados de 1977 a 2006, como parte do projeto Atlas Pluviométrico do Brasil. Neste mapa (Figura 29), a bacia de Zimbros encontra-se entre as isoietas de 1700 e 1800 mm.

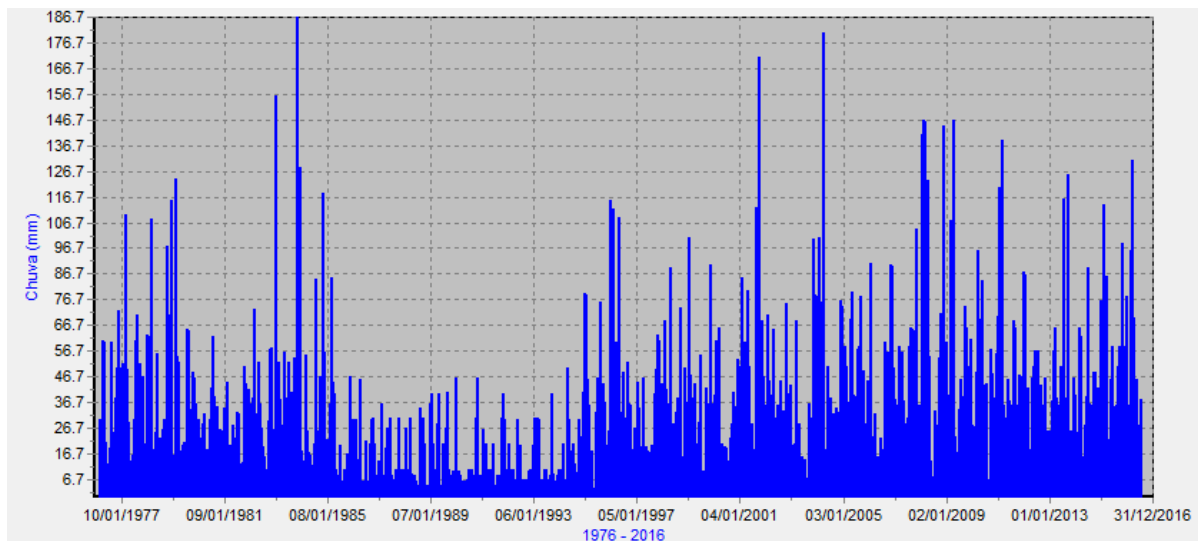


**Figura 29 – Isoietas de precipitação anual (CPRM, 2006)**

No presente estudo, foi realizada uma análise mais detida da pluviometria desta região.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

O posto pluviométrico Governador Celso Ramos (02748019) está a 17 km da exutória da bacia Zimbros. A princípio cogitou-se utilizar seus dados como entrada única de chuvas para a bacia de Zimbros. No entanto, uma análise de consistência revelou alguns problemas nos dados. A Figura 30 apresenta o histórico de chuvas diárias da estação.



**Figura 30 – Registro diário de chuvas na estação Governador Celso Ramos (02748019)**

A simples observação dos totais mensais precipitados na estação Governador Celso Ramos (02748019) chama a atenção para a década entre 1985 e 1995, de comportamento bem diverso do restante da série. Por isso, decidiu-se buscar dados de chuvas em outras estações próximas<sup>1</sup>.

As estações encontradas e os totais precipitados ano a ano são mostrados nas Figura 31 e Figura 32. A série anual foi construída a partir dos dados de chuvas mensais disponíveis no sítio da ANA.

<sup>1</sup> Na Hidroweb, a estação Camboriú (02748008) tem dados de 1951 a 1983. ETA Casan Camboriú (2748025), Porto Belo (2748007) e ETA Casan (2748026) não têm dado algum. As estações do CEMADEN – Tijucas (2748093), Itapema\_Morretes (2748068), Estrada Geral do Sertão (2748069), Itapema\_Praia Mar (2748070), entre outras – não tem dados ou apenas dados de 2013 a 2016.



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



Figura 31 – Estações pluviométricas utilizadas no cálculo da chuva média anual em Zimbros

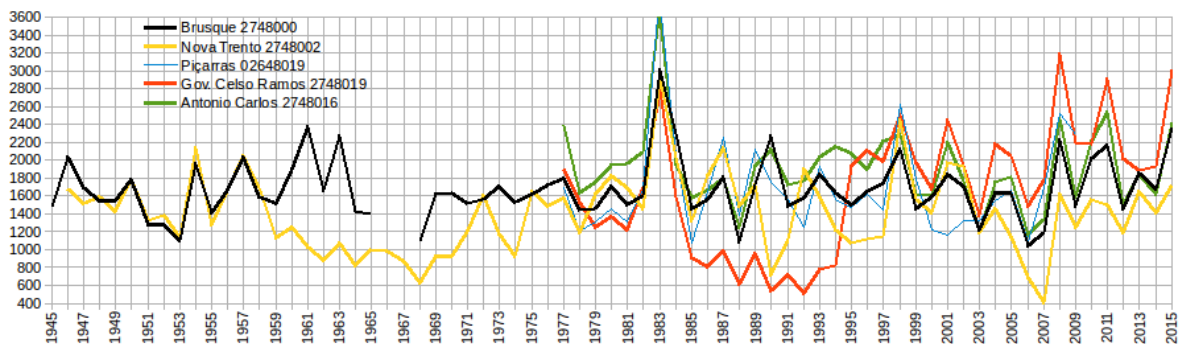


Figura 32 – Registro anual de chuvas nas estações próximas a Zimbros

## **ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

A comparação com as precipitações em outras estações não deixa dúvidas de que os dados de 1985 a 1995 da estação Governador Celso Ramos apresentam problemas e sua inclusão nos cálculos reduziria a precipitação média anual. O fato desses dados aparecerem na série da ANA marcada como “Consistida” mostra que a marcação “consistidos” ou “brutos” não é indicativo da qualidade dos dados.

Escolheu-se o período de 1977 a 1984 e 1995 a 2008 para determinação das médias anuais de cada posto e das correlações entre eles. O preenchimento de falhas na série de chuvas mensais foi realizado por meio das correlações obtidas neste período.

A estação Governador Celso Ramos teve seus dados descartados entre 1985 e 1995. A partir de 2008, a estação parece anormalmente úmida; ainda que os dados neste período possam estar corretos, não são representativos de um período mais longo. O posto Nova Trento foge frequentemente da tendência das demais estações. A estação Brusque (02748000) possui os dados mais consistentes entre todas as estações.

Por meio de ponderação pelo inverso da distância, a chuva média anual em Zimbros resultou 1850 mm para o período 1977 a 1984 e 1995 a 2008. Estendendo-se o período para 1941 a 2015, pela correlação com Brusque, o valor passa para 1830 mm. Esta chuva foi utilizada, em conjunto com o coeficiente de deflúvio de 0,75, para o cálculo da vazão média de longo termo da bacia de Zimbros – 0,060 m<sup>3</sup>/s.

Para uso no modelo chuva-vazão da bacia de Zimbros, foi necessária a obtenção de chuvas registradas a intervalo igual ou inferior à duração unitária da bacia (aproximadamente 30 minutos – Tabela 8). A estação de Brusque possui pluviógrafo operante desde 2005, com registros a cada hora ou 15 minutos, disponíveis da página de telemetria da ANA. Embora a chuva em Brusque não seja instantaneamente igual à chuva em Zimbros, impedindo o uso por exemplo para um modelo de previsão de vazões, os totais precipitados, a distribuição no tempo e a frequência de ocorrência de eventos extremos é semelhante e foi usada para alimentar o modelo chuva-vazão e gerar uma série diária de vazões em Zimbros. O período utilizado foi de 11 anos,

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

entre agosto de 2005 e julho de 2016 (

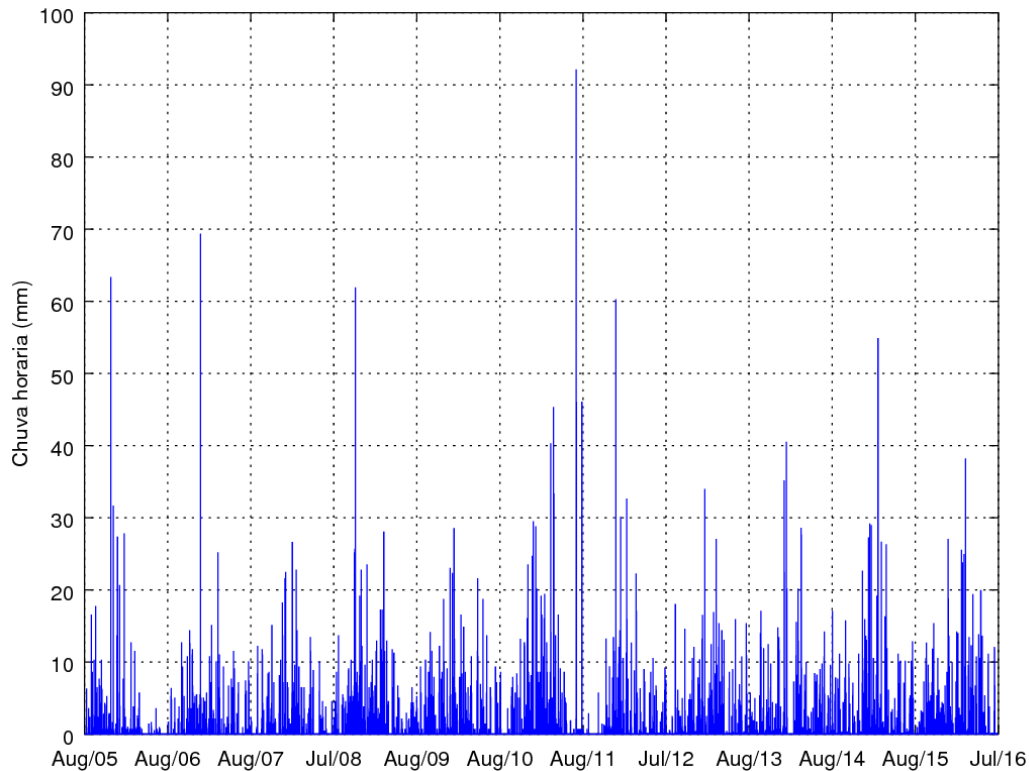
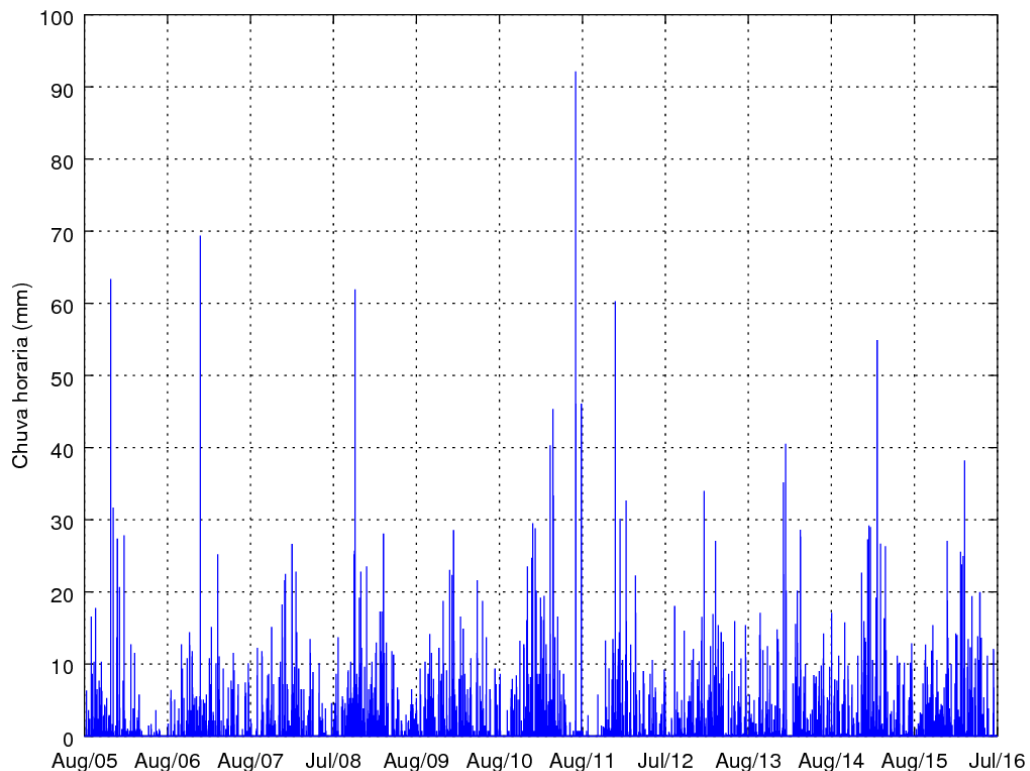


Figura 33). Os registros de Brusque foram multiplicados por 0,96 para que o volume total precipitado nos 11 anos correspondesse a  $11 \cdot 1830$  mm. Nos períodos de registro horário, a discretização foi aumentada para 15 minutos, com distribuição uniforme dos volumes dentro de cada hora.

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros



**Figura 33 – Precipitação horária utilizada no modelo chuva-vazão de Zimbros recolar figura com qualidade**

### 5.7 Modelagem Chuva-Vazão

Os modelos chuva-vazão das bacias similares e da bacia de Zimbros foram elaborados no *software* HEC-HMS 4.2. Em cada bacia foi simulado o período de um ano, elegendo-se um ano sem falhas de chuva ou vazão, com vazões altas e períodos de recessão bem marcados.

#### 5.7.1 Bacias modeladas

Para a modelagem chuva-vazão, além dos dados já reunidos foram aproveitados dados horários medidos durante alguns meses de 2011 em uma pequena bacia na ilha de Florianópolis pela equipe da Acqualis Engenharia Hídrica em parceria com o Laboratório de Hidráulica Marítima (LaHiMaR) da UFSC. Embora a metade da cobertura de solo não seja floresta e a bacia possua grande área plana, julgou-se interessante incluí-la entre as bacias modeladas em virtude de sua pequena

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

área e da disponibilidade de dados compatíveis com o tempo de concentração da bacia. A Figura 34 e a Tabela 6 apresentam informações da bacia.



**Figura 34 – Bacia 9 “Rio João Gualberto”**

**Tabela 6 – Características físicas da bacia 9 “Rio João Gualberto”**

Bacia	Estação	Código	Área (km <sup>2</sup> )	Compr. Talvegue (km)	Elevação (m)		Declividade (%)
					Exutória	Cabeceira	
9	Rio João Gualberto	-	6,37	7,2	10	160	2,1

A primeira medida para avaliar a possibilidade de elaborar modelos chuva-vazão das bacias similares foi estimar seus tempos de concentração através de



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

fórmulas empíricas. A Tabela 7 apresenta os resultados de várias fórmulas, citadas no item 6.3 Metodologia.

**Tabela 7 – Características físicas da bacia 9 “Rio João Gualberto”**

Bacia →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
	Eta - Matinhos	Passo do Vau	Colônia Rio Verde	Anhaia	Estrada dos Morros	Rio Novo	Rio Correia	Rio Nunes	João Gualberto	
Área da bacia (km²) =	12,3	113,0	93,6	57,2	37,2	33,1	69,5	28,9	6,4	
Comp. do talvegue L (km) =	5,9	30,0	22,6	15,3	12,8	15,3	24,0	10,1	7,2	
Cota da nascente (m) =	696	1000	667	876	879	917	953	1133	160	
Cota da exutória (m) =	15	10	14	66	103	355	685	14	10	
K =	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
CN =	75	75	75	75	75	75	75	75	75	
Desnível H (m) =	681	990	653	810	776	563	268	1119	150	
Declividade i =	11,5%	3,3%	2,9%	5,3%	6,0%	3,7%	1,1%	11,1%	2,1%	
Tempos de concentração (min)	Picking =	36	160	138	87	74	98	197	52	72
	Ven Te Chow =	297	2252	1766	985	794	1109	2545	514	626
	DNOS =	90	401	377	236	190	232	511	132	153
	SCS =	279	1915	1628	880	718	1058	2751	437	770
	Corps of engineers =	105	456	377	250	213	268	473	158	168
	Ventura =	79	446	433	250	189	228	601	123	133
	<b>Média =</b>	<b>147</b>	<b>938</b>	<b>787</b>	<b>448</b>	<b>363</b>	<b>499</b>	<b>1180</b>	<b>236</b>	<b>320</b>
	em horas →	2,5	15,6	13,1	7,5	6,1	8,3	19,7	3,9	5,3

O limitador para elaboração do modelo chuva-vazão é a discretização disponível dos dados de chuva e vazão. No método do hidrograma unitário sintético, idealmente deve haver registros de vazão e chuva a intervalos iguais ou menores do que a duração unitária da chuva, que por sua vez é aproximadamente  $\frac{1}{4}$  do tempo de concentração, para os fins deste estudo. Como a vazão medida serve apenas para comparação com o resultado do modelo, medições de vazão a intervalos próximos do tempo de concentração tem alguma utilidade. Entretanto, a chuva é dado de entrada do modelo e precisa ser lançada com intervalo de medição igual ou inferior à duração unitária. Isso restringiu a elaboração do modelo chuva-vazão à bacia 4 “Anhaia”, que



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

dispõe de dados horários fornecidos pelo IAP (Instituto Águas do Paraná), e à bacia 9 “Rio João Gualberto”, que possui informações em escala horária ou sub-horária.

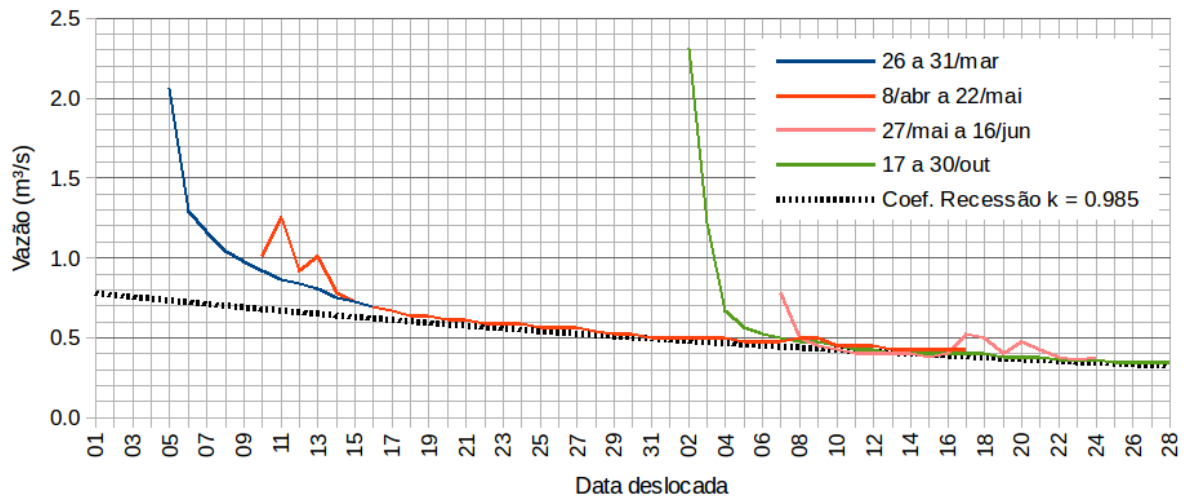
Outra limitação foi à dificuldade de se determinar a chuva real sobre a bacia. Apesar das estações pluviométricas próximas serem uma fonte confiável da pluviometria no longo prazo (os vários anos das séries), no curtíssimo prazo (as poucas horas da duração unitária) elas não são indicativas seguras do volume precipitado na bacia. Essa dificuldade é pouco sentida em bacias de centenas ou milhares de quilômetros quadrados, mas é nítida nas bacias pequenas e de baixos tempos de concentração estudadas aqui.

Na tentativa de introduzir mais informações no estudo com modelo chuva-vazão, foram modeladas também as bacias 2 “Passo do Vau” e 3 “Colônia Rio Verde”, que apresentam tempos de concentração de meio dia ou superior. Para distribuir chuvas acumuladas em 24 horas em blocos de 3 ou 4 horas (durações unitárias), foi aplicado o método de Huff com 3º quartil (Canholi, 2005).

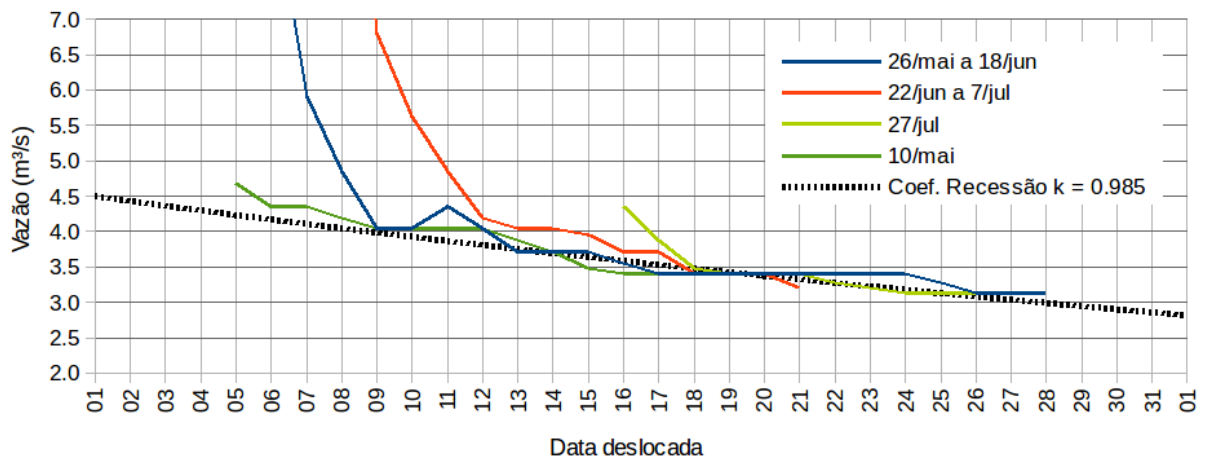
### **5.7.2 Determinação dos coeficientes de recessão**

A Figura 35 e a Figura 39 mostram a sobreposição de trechos de recessão de algumas bacias e a curva envoltória de recessões, cuja equação fornece o coeficiente “k” de recessão. Para cada bacia foram utilizados tramos de recessão de um ano em que os períodos de recessão eram longos. Para a bacia 9 o registro de vazões era limitado a poucos meses e permitiu o uso de um só período de recessão.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

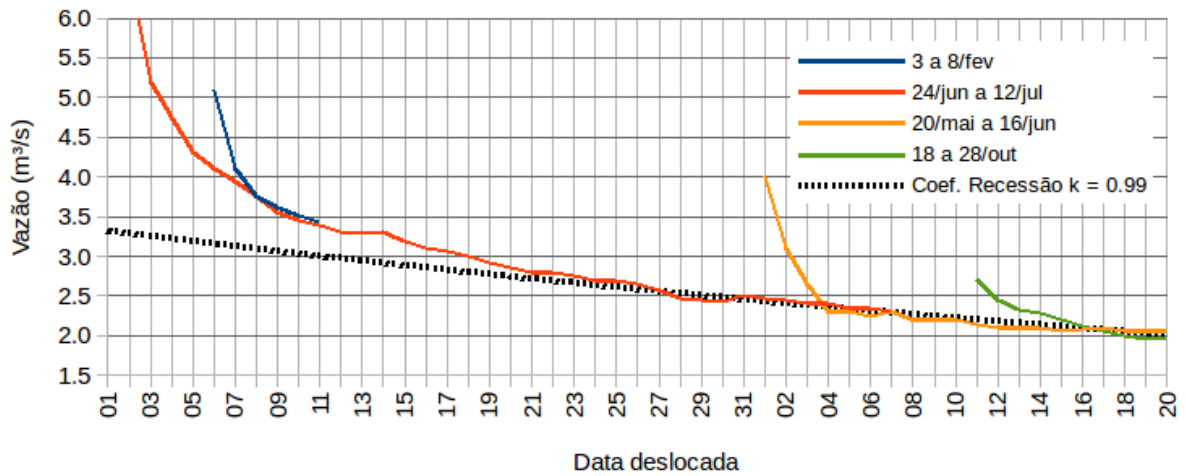


**Figura 35 – Curvas de recessão da bacia 1 “ETA – Matinhos” –  $k = 0.985$**

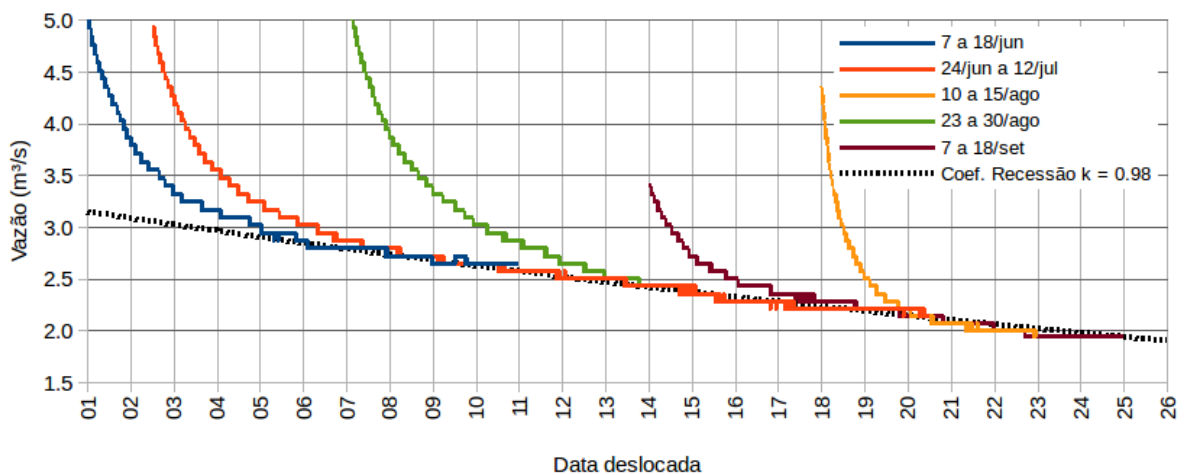


**Figura 36 – Curvas de recessão da bacia 2 “Passo do Vau” –  $k = 0.985$**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

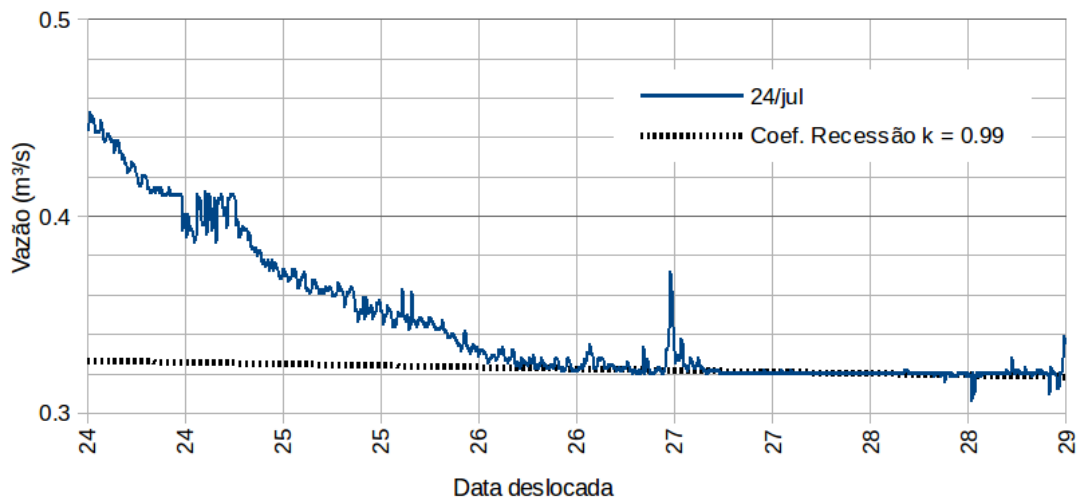


**Figura 37 – Curvas de recessão da bacia 3 “Colônia Rio Verde” –  $k = 0.99$**



**Figura 38 – Curvas de recessão da bacia 4 “Anhaia” –  $k = 0.98$**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 39 – Curvas de recesso da bacia 9 “Rio João Gualberto” –  $k = 0.99$**

Os coeficientes “k” obtidos apresentaram margem de variação bastante estreita e permitiram arbitrar o valor de 0,99 para a bacia de Zimbros.

O coeficiente de pico da bacia de Zimbros foi escolhido partindo-se da média verificada nas bacias similares e ajustando-se para que as curvas de permanência do modelo HEC-HMS se assemelhassem às da regionalização.

### **5.7.3 Parâmetros do Hidrograma Unitário Sintético**

Foram experimentados os hidrogramas unitários sintéticos de Snyder, de Clark e do Soil Conservation Service (SCS), como descritos em U.S. Corps of Engineers (2000). O hidrograma de Clark foi o que melhor reproduziu o formato dos hidrogramas observados nas bacias similares modeladas.

O hidrograma unitário sintético de Clark é função do tempo de concentração “Tc” e do coeficiente de armazenamento “Sc” (storage coefficient), ambos em horas. Na calibragem dos modelos chuva-vazão, os tempos de concentração foram inicialmente adotados como a média dos valores da Tabela 6. Em seguida, os dois parâmetros – “Tc” e “Sc” – foram ajustados para que o formato dos hidrogramas calculados no modelo HEC-HMS fosse semelhante ao formato dos hidrogramas

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

---

medidos em campo. O quociente adimensional  $Sc/(Sc+Tc)$  tende a permanecer constante numa mesma região (U.S. Corps of Engineers, 2016).

### **5.7.4 Perdas de Chuva**

Para considerar as perdas por infiltração foi adotado o método simplificado da perda inicial e constante, não havendo razões para a utilização de um método mais sofisticado na ausência de qualquer parâmetro de entrada medido em campo. Em vista da cobertura por floresta, foi considerado nulo o percentual impermeável em todas as bacias.

Como se trata de simulações de um ano, a perda inicial foi zerada pois teria efeito apenas nos primeiros dias da simulação. A calibragem recaiu então inteiramente sobre a perda constante, dada em mm/h.

A perda constante não pode ser transferida de uma bacia para outra quando as medições de chuva são realizadas em intervalos diferentes. Como exemplo, adotando-se uma perda constante de 1 mm/h, uma chuva de 5 mm em uma hora sofreria perda de apenas 1 mm, se o registro e a entrada de dados no modelo forem horários. Supondo que no restante do dia não houvesse mais chuvas e os registros de chuva fossem diários, a mesma perda de 1 mm/h anularia completamente a chuva pois a chuva horária seria de 5mm/24h, ou seja, 0,2 mm/h. Adicionalmente, como o período simulado foi de apenas um ano, a premissa de variação nula do volume armazenado na bacia (item 6.3.2) fica comprometida e a perda constante acaba servindo a duas funções.

Como referência de variabilidade e ordem de grandeza, a JICA (2001) encontrou valores de perda constante de 2,1 a 6,7 mm/h na calibragem de eventos isolados em diversas bacias do Vale do Itajaí.

Fixados os demais parâmetros apresentados nos itens anteriores, o valor de perda constante para cada bacia foi ajustado para que o volume escoado calculado pelo modelo fosse igual ao volume escoado medido em campo. Na bacia de Zimbros, a perda constante foi ajustada para que o volume calculado no modelo fosse igual ao

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

volume definido pelo volume precipitado multiplicado pelo coeficiente de deflúvio de 0,75.

**5.7.5 Parâmetros Adotados nos Modelos Chuva-Vazão**

A Tabela 8 apresenta os parâmetros finais obtidos nos modelos chuva-vazão das bacias similares e da bacia de Zimbros.

**Tabela 8 – Parâmetros dos modelos chuva-vazão**

	Bacia →	2 Passo do Vau	3 Colônia Rio Verde	4 Anhaia	9 João Gualberto	Zimbros
Valores estimados	Tc max. (min) =	37,5	29,4	16,4	12,8	<b>2,0</b>
	Tc médio (min) =	15,6	13,1	7,5	5,3	<b>1,0</b>
	Tc min. (min)=	2,7	2,3	1,4	1,2	<b>0,3</b>
	Coef. de recessão =	0,985	0,990	0,980	0,995	--
Valores adotados	Tc (horas) =	16	12	8	8	<b>2</b>
	Duração unitária (horas) =	4	3	2	2	<b>0,5</b>
	Perda inicial (mm) =	0	0	0	0	<b>0</b>
	Perda constante (mm) =	0,04	1,1	2,0	0,5	<b>5,4</b>
	Coef. de armazen. (Sc) =	70	40	25	60	<b>20</b>
	Sc/(Sc+Tc) =	0,81	0,77	0,76	0,88	<b>0,91</b>
	Coef. de recessão =	0,990	0,995	0,980	0,995	<b>0,990</b>
	Razão de pico =	0,17	0,09	0,14	0,10	<b>0,08</b>

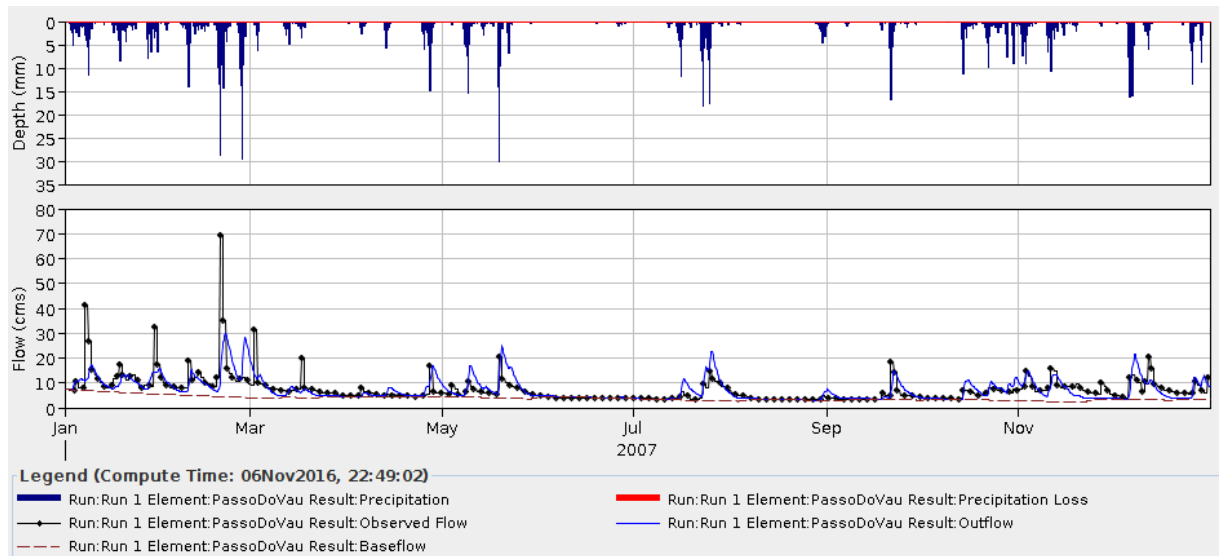
**5.7.6 Resultados dos Modelos Chuva-Vazão das Bacias Similares**

A Figura 40 e a Figura 43 mostram um comparativo entre vazões calculadas nos modelos e medidas em campo. A ausência de dados horários de chuva foi um forte limitador de precisão para as bacias 2 “Passo do Vau” e 3 “Colônia Rio Verde”. Na bacia 3 “Anhaia”, os dados horários de chuva são de uma estação muito afastada (Morretes) para representar precisamente a chuva instantânea na bacia. Em várias posições dos gráficos, percebe-se distribuições de precipitação que não são

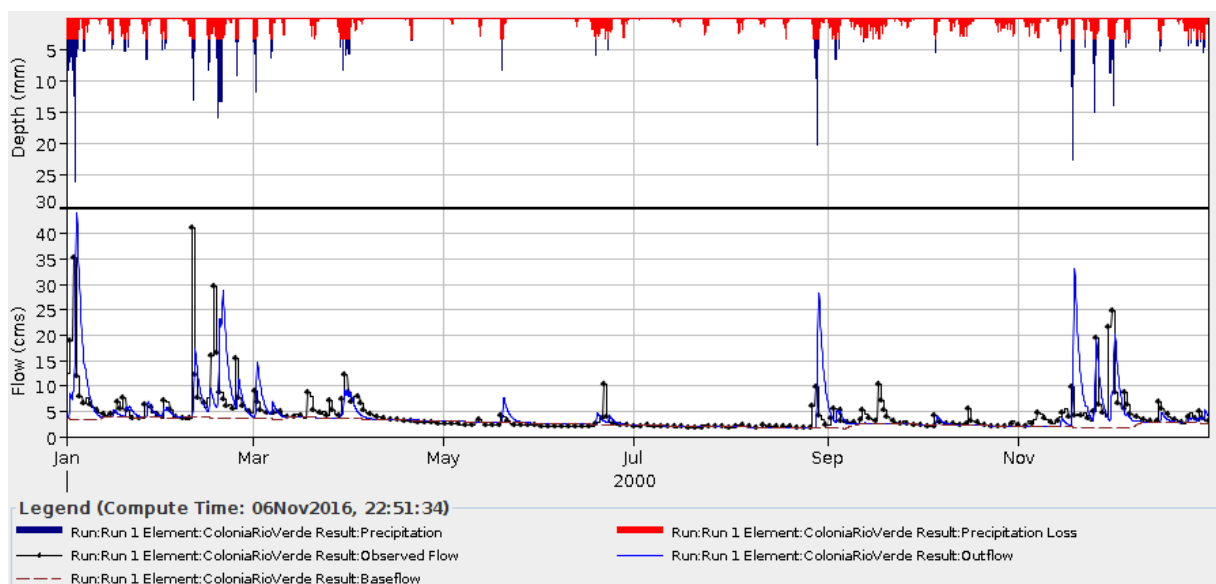


**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

compatíveis com a magnitude e o momento dos hidrogramas medidos em campo. Por isso, na calibragem dos modelos considerou-se suficiente que a forma dos hidrogramas, das recessões e a ordem de grandeza das vazões de pico fossem aproximadamente reproduzidas, mesmo que em momentos diferentes.

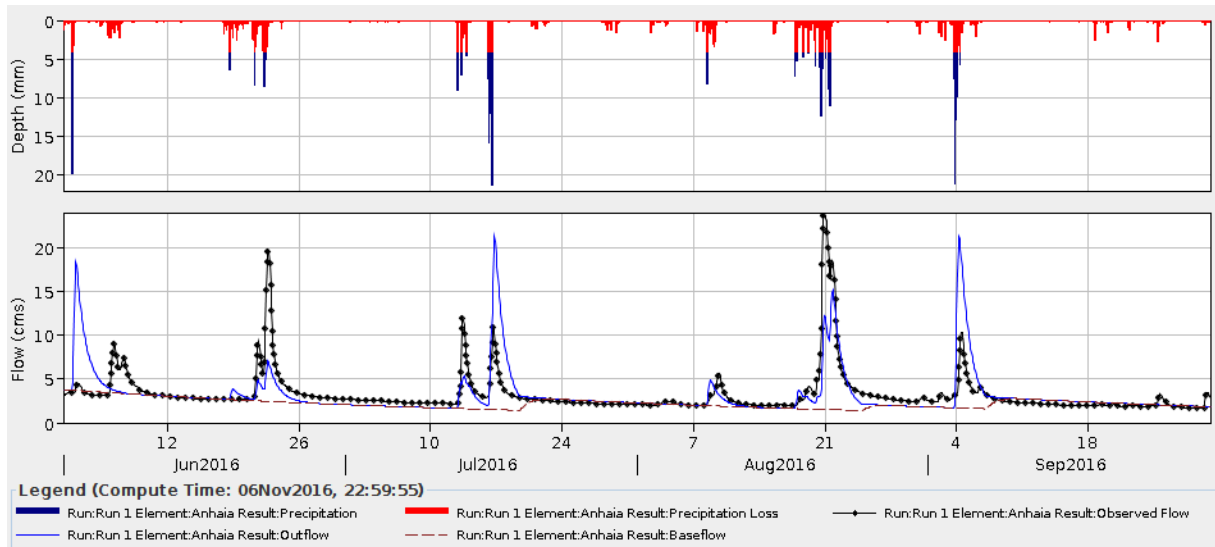


**Figura 40 – Resultados do modelo chuva-vazão da bacia 2 “Passo do Vau”**

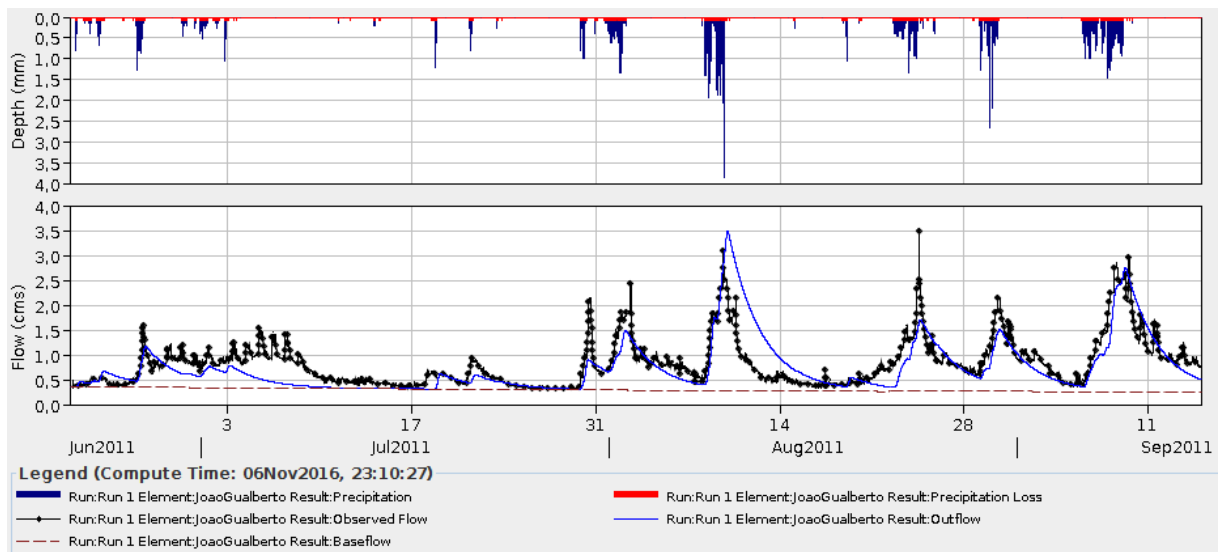


**Figura 41 – Resultados do modelo chuva-vazão da bacia 3 “Colônia Rio Verde”**

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 42 – Resultados do modelo chuva-vazão da bacia 4 “Anhaia”**



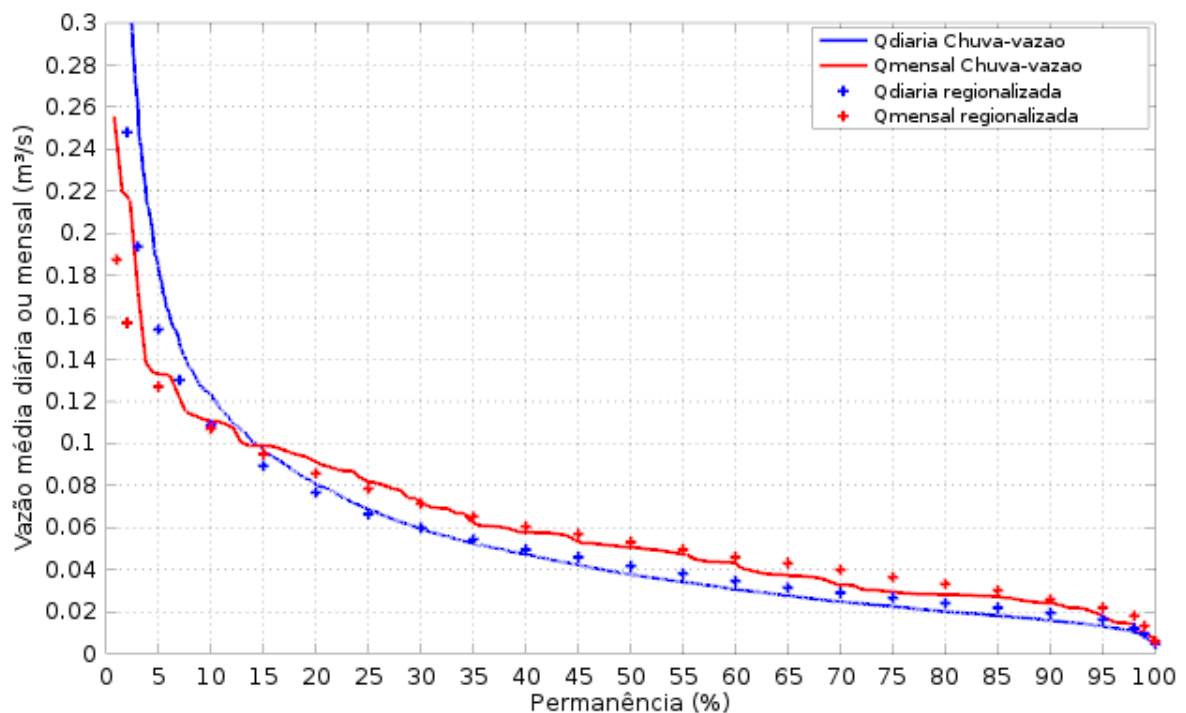
**Figura 43 – Resultados do modelo chuva-vazão da bacia 9 “Rio João Gualberto”**

## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

### 5.7.7 Resultados do Modelo Chuva-Vazão na Bacia de Zimbros

O modelo chuva-vazão de Zimbros foi executado com a chuva apresentada no item 6.6, entre agosto de 2005 e julho de 2016, e um passo de tempo de 30 minutos, igual à duração unitária do hidrograma estimado para a bacia.

O ajuste dos parâmetros foi realizado de modo que as vazões calculadas produzissem um coeficiente de deflúvio de 0,75 e curvas de permanência semelhantes às obtidas na regionalização (Figura 44).



**Figura 44 – Curvas de permanência da bacia de Zimbros obtidas no estudo de regionalização e no modelo chuva-vazão**

A série de vazões obtida no modelo foi transformada em série diária e dela foram extraídas, para cada ano, a máxima vazão diária e a mínima vazão média de 7 dias (Tabela 9).

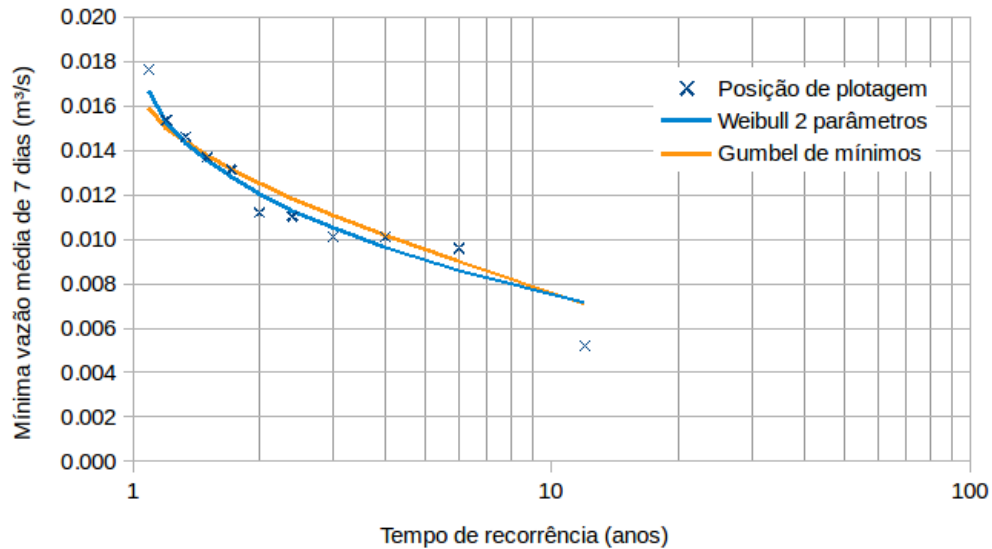
**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

**Tabela 9 – Vazões diárias máximas e mínimas de 7 dias na bacia de Zimbros resultantes do modelo chuva-vazão**

Ano hidrológico	Máxima Vazão Média Diária (m <sup>3</sup> /s)	Mínima Vazão Média de 7 dias (m <sup>3</sup> /s)
2005/2006	1,09	0,010
2006/2007	1,05	0,005
2007/2008	0,70	0,015
2008/2009	1,44	0,014
2009/2010	0,59	0,015
2010/2011	1,41	0,010
2011/2012	0,94	0,013
2012/2013	0,65	0,010
2013/2014	0,93	0,018
2014/2015	0,95	0,011
2015/2016	0,42	0,011

As séries apresentadas na Tabela 9 foram tratadas estatisticamente para se chegar nas vazões notáveis de cheia e de estiagem com seus respectivos tempos de recorrência. A vazão de estiagem Q<sub>7,10</sub> resultou igual a 0,007 m<sup>3</sup>/s, dada pela distribuição de Weibull (Figura 45). As vazões de cheia são apresentadas na Tabela 10. Foi adotada a distribuição de Gumbel em função do coeficiente de assimetria inferior a 1,5.

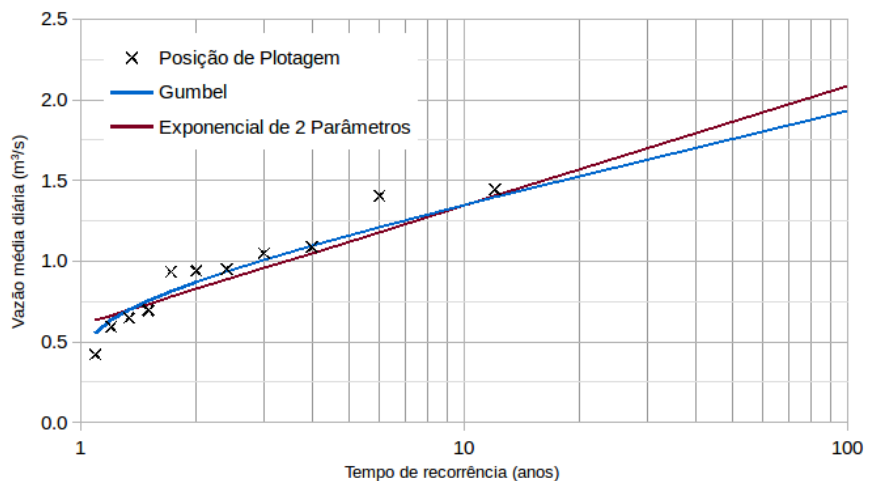
**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**



**Figura 45 – Ajuste estatístico de vazões Q7 dadas pelo modelo chuva-vazão na bacia de Zimbros**

**Tabela 10 – Vazões de cheia e tempos de recorrência na bacia de Zimbros resultantes do modelo chuva-vazão**

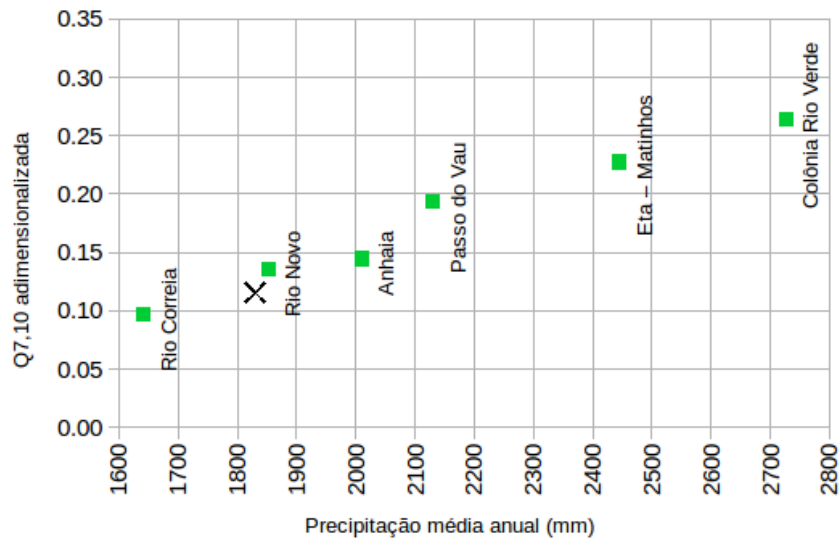
Tempo de recorrência (anos)	Vazão (m³/s)
5	1,16
10	1,34
25	1,58
50	1,76
100	1,93
200	2,11
500	2,34



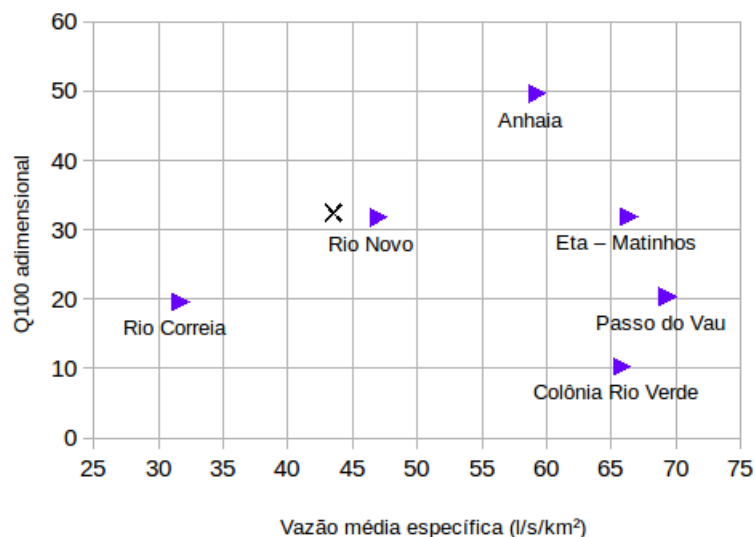
Para verificação, a vazão Q7,10 adimensionalizada e a vazão Q100 adimensionalizada foram lançadas nos gráficos das bacias similares (Figura 45 e Figura 46). A vazão Q7,10 do modelo seguiu a tendência mostrada no estudo de regionalização, o que reforçou a confiança no modelo. As vazões extremas não

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

havam mostrado tendência alguma no estudo de regionalização; o resultado do modelo chuva vazão ficou dentro da faixa obtida no estudo de regionalização.



**Figura 46 – Vazões Q7,10 adimensionalizadas ( $Q_{7,10}/Q_{mlt}$ ) em função da precipitação média anual. A marcação em “X” indica a posição da bacia de Zimbros.**

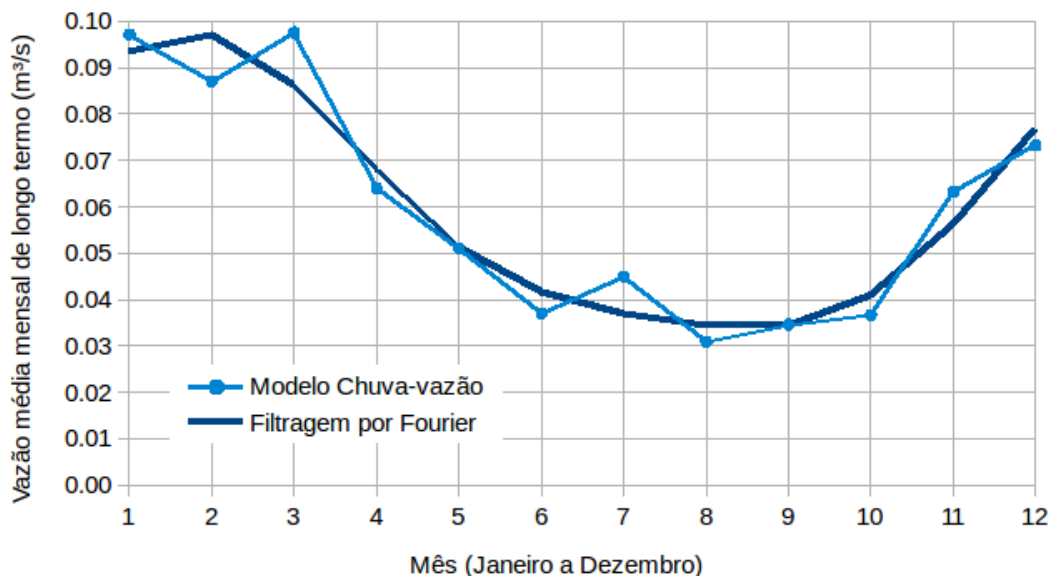


**Figura 47 – Vazões Q100 adimensionalizadas ( $Q_{100}/Q_{mlt}$ ) em função da vazão média específica. A marcação em “X” indica a posição da bacia de Zimbros.**



## ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros

A série diária do modelo foi transformada em série mensal e a partir desta foram calculadas as vazões médias dos meses de Janeiro a Dezembro no período simulado de 11 anos. O gráfico com as médias mensais de longo termo é mostrado na Figura 48. As médias apresentaram oscilações aleatórias, derivadas do período relativamente curto simulado, que foram suavizadas através da aplicação de um filtro de Fourier com 2 harmônicos. A Tabela 11 lista as médias mensais de longo termo já filtradas.



**Figura 48 – Vazões médias mensais de longo termo na bacia de Zimbros**

**Tabela 11 – Vazões médias de longo termos da bacia de Zimbros**

[www.acqualisengenharia.com.br](http://www.acqualisengenharia.com.br)  
ACQUALIS ENGENHARIA HÍDRICA  
Tel (48) 3364 8893 | (48) 9662 1699  
[acq@acqualisengenharia.com.br](mailto:acq@acqualisengenharia.com.br)

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

Mês	Vazão média (m <sup>3</sup> /s)
Janeiro	0,094
Fevereiro	0,097
Março	0,086
Abril	0,068
Maio	0,051
Junho	0,042
Julho	0,037
Agosto	0,034
Setembro	0,034
Outubro	0,041
Novembro	0,056
Dezembro	0,077

## 6 RESERVATÓRIO EXISTENTE

O reservatório existente há mais de trinta anos, possui NA Máximo Normal na cota 24,25m, Volume Total de 973m<sup>3</sup> e Volume Útil<sup>2</sup> de 746m<sup>3</sup>. A barragem atual tem 2,95m de altura e 16,16m de comprimento.

## 7 VAZÕES DEMANDADAS

### 7.1 Vazão máxima instantânea e volume diário que se pretenda derivar

A captação diária requerida equivale a 3.456,00 m<sup>3</sup>/dia, sendo que a demanda de vazão máxima instantânea para este horizonte deverá apresentar aproximadamente 70,0 L/s.

---

<sup>2</sup> O Volume Útil é aquele armazenado entre a cota de captação e o NA Máximo Normal.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

**7.2 Regime de variação, em termos de número de dias de captação, em cada mês, e de número de horas de captação, em cada dia**

O regime de captação se dará 24 horas por dia durante todos os dias do mês (Tabela 12).

*Tabela 12. Regime de variação de captação de água.*

<b>Regime de Variação</b>	<b>Captação</b>
<b>Dias</b>	<b>Horas</b>
<b>30</b>	<b>24</b>

**7.3 Vazão consuntiva**

A vazão consuntiva a ser requerida pela ETA Bombinhas, segundo os dados técnicos prevê a demanda de 40,0 L/s.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

## **8 BIBLIOGRAFIA**

Canholi, A. P., 2005. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. Oficina de textos, São Paulo, Brasil.

CPRM, 2006. **Isoietas Anuais na escala 1:5.000.000**. Atlas Pluviométrico do Brasil. Serviço Geológico do Brasil.

Eletrobrás, 2000. **Diretrizes para estudos e projetos de pequenas centrais hidrelétricas**. Centrais Elétricas Brasileiras S. A. Brasil.

DNIT, 2005. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. Publicação IPR – 715. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. Rio de Janeiro, Brasil.

Engecorps, Tetraplan e Lacaz Martins, 2006. **Estudos dos instrumentos de gestão de recursos hídricos para o estado de Santa Catarina e apoio para sua implementação. Regionalização de vazões das bacias hidrográficas estaduais do estado de Santa Catarina**. Volume 1 – Texto. Revisão 0/B. Programa de Recuperação Ambiental e de Apoio ao Pequeno Produtor Rural. Governo do Estado de Santa Catarina.

Japan International Cooperation Agency (JICA), 2011. **Estudo preparatório para o projeto de prevenção e mitigação de desastres na bacia do rio Itajaí - Relatório final Volume III**. Governo do Estado de Santa Catarina, Brasil.

Linsley, R. K. Jr, Kohler, M. A., Paulhus, J. L. H. (1958) **Hydrology for Engineers**. McGraw-Hill Book Company, USA.

Mendonça, A. S., 2001. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Capítulo 6 – Balanço Hídrico**. Finep, Projeto RECOPE.

Naghattini, M., Pinto, E. J. A., 2007. **Hidrologia estatística**. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Belo Horizonte, Brasil.

Nerilo, N., Berticeli, I., Kusterko, S. (2013) **Ampliação do sistema de abastecimento de água de Zimbros. Captação de água bruta e estação de tratamento de água. Memorial descritivo e de cálculo. Município de Bombinhas/SC**. Revisão A. CASAN – Companhia Catarinense de Águas e Saneamento.

Pinto, N. L. S., Holtz, A. C. T., Martins, J. A., Gomide, F. L. S. (1976) **Hidrologia Básica**. Editora Edgar Blucher, Rio de Janeiro, Brasil.

Santos, L. C. C., 2010. **Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil.

**ESTUDO HIDROLÓGICO DE DISPONIBILIDADE HÍDRICA**  
**Concepção do Sistema de Abastecimento de Água de Zimbros**

---

Tucci, C. E. M., Clarke, R. T., 2001. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. Capítulo 7 – Regionalização hidrológica.** Finep, Projeto RECOPE.

U.S. Corps of Engineers, 2000. **Hydrologic modeling system – HEC-HMS Technical reference manual.** Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.

U.S. Corps of Engineers, 2016. **Hydrologic modeling system – HEC-HMS User's manual.** Hydrologic Engineering Center, Davis, USA.

Páginas de internet:

Agência Nacional de Águas – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídrico – <http://www.snirh.gov.br/>

Agência Nacional de Águas - Sistema de Informações Hidrológicas – <http://hidroweb.ana.gov.br/>

CPRM – Serviço Geológico do Brasil - <http://www.cprm.gov.br/>

Instituto Águas do Paraná – <http://www.aguasparana.pr.gov.br/>