



## **BARRAGEM SÃO DALMÁCIO**

# **RELATÓRIO DO ESTUDO HIDROLÓGICO**

**Data de Emissão: 14/04/2022**

**Contratante: Prefeitura Municipal de São Roque do Canaã**

**Contrato: Nº036/2022**

**Ordem de Serviço: Nº010/2022**

**Profissional Responsável: João Adolfo Camiletti Fassarella**

**Supervisão: Vinicius dos Santos Rebuli**

**VITÓRIA / ES**

# SUMÁRIO

SUMÁRIO .....	2
1. ESTUDO HIDROLÓGICO .....	3
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	3
1.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO BARRAMENTO.....	3
1.3 CLIMA E ZONAS NATURAIS .....	6
1.4 VEGETAÇÃO .....	10
1.5 GEOLOGIA .....	11
2. PLUVIOMETRIA.....	13
3. FLUVIOMETRIA .....	24
4. CÁLCULO DAS DESCARGAS DE PROJETO .....	32
4.1 PERÍODO DE RETORNO .....	32
4.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO .....	33
4.3 CÁLCULO DAS VAZÕES MÁXIMAS .....	34
4.4 HUT – HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR.....	37
5. MODELAGEM HIDRÁULICA .....	42
5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS .....	45
5.2 MODELAGEM MATEMÁTICA .....	48
5.3 CENÁRIO 1 – SITUAÇÃO ATUAL .....	50
5.4 CENÁRIO 2 – SITUAÇÃO COM A IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM.....	52
5.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	54
5.6 RESULTADOS PARA O CENÁRIO 1 – SITUAÇÃO ATUAL .....	54
5.7 RESULTADOS PARA O CENÁRIO 2 – PROJETO DA BARRAGEM IMPLANTADA	58
6. RESULTADOS E CONCLUSÃO .....	65

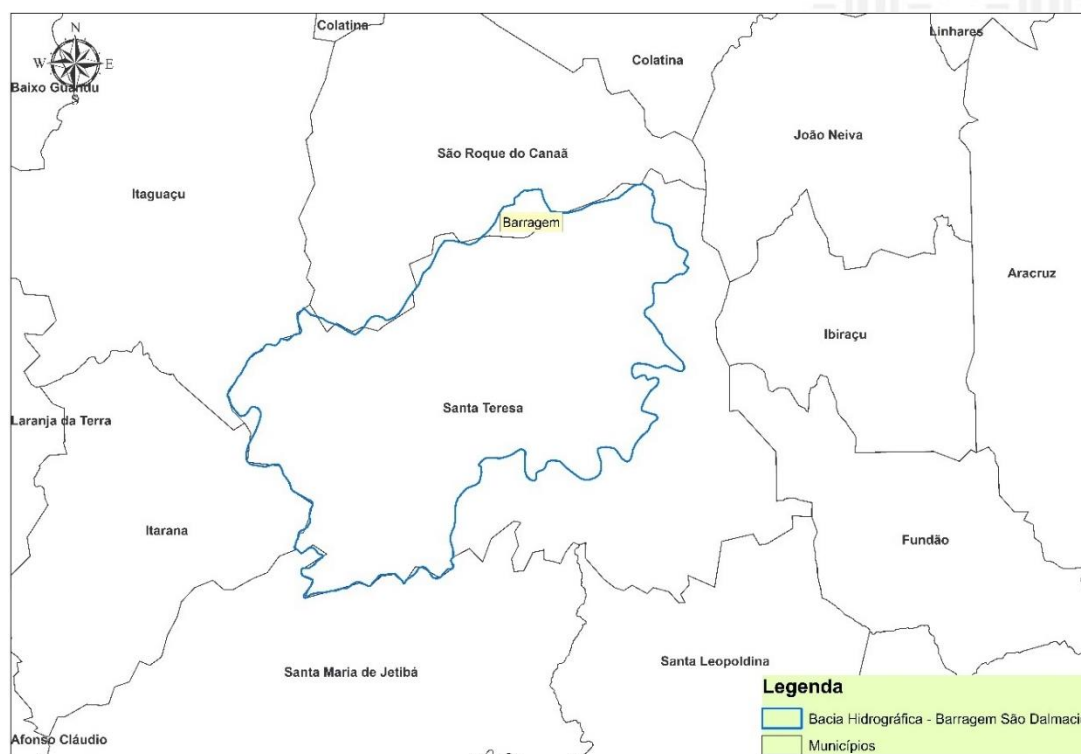
# 1. ESTUDO HIDROLÓGICO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo hidrológico tem como objetivo coletar informações junto a órgãos oficiais, estudos existentes, documentos e publicações a fim de realizar a caracterização climática e pluviométrica da área em que o projeto se encontra inserido, bem como fornecer elementos necessários para o estudo e projeto básico de implantação do barramento.

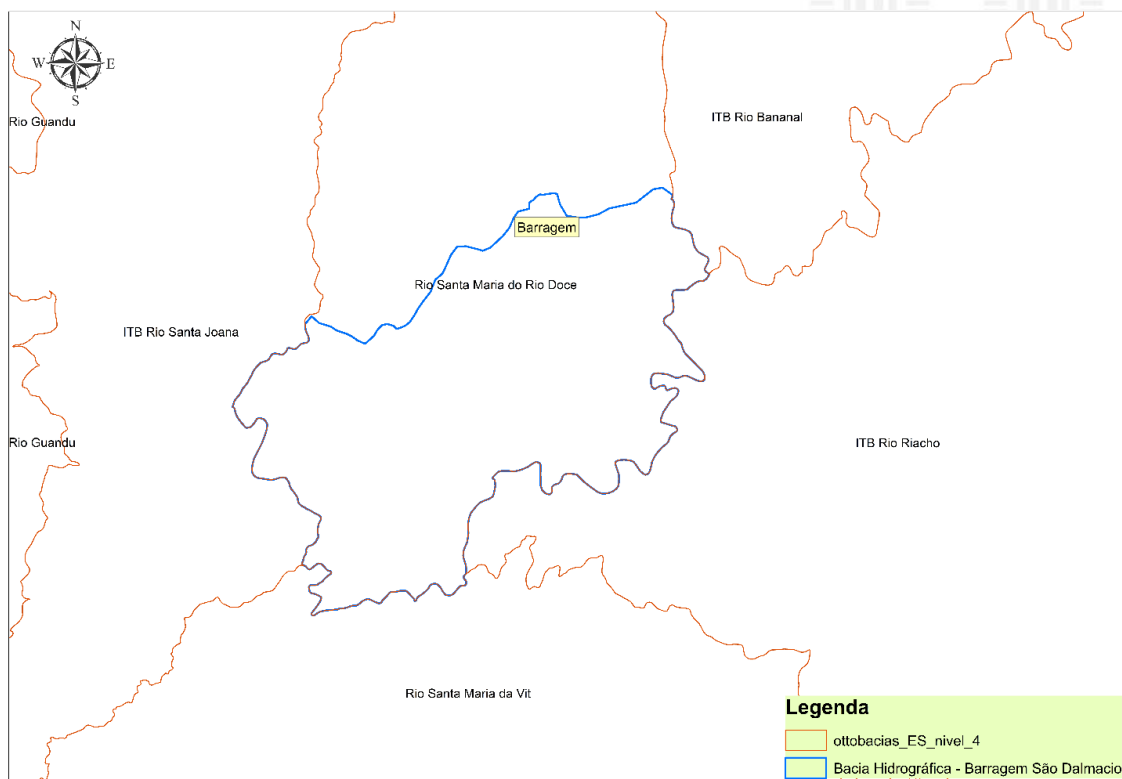
## 1.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO BARRAMENTO

O estudo da bacia de contribuição do trecho foi realizado com base em fotos aéreas da região, cartas topográficas elaboradas pelo IBGE e base de levantamento aerofotogramétrico fornecido pelo GEOBASES entre outras fontes existente de pesquisa. A bacia do barramento se estende basicamente pelos municípios de Santa Tereza e de São Roque do Canaã, conforme figura abaixo:



*Figura 1.1.1: Bacia Hidrográfica – Localização*

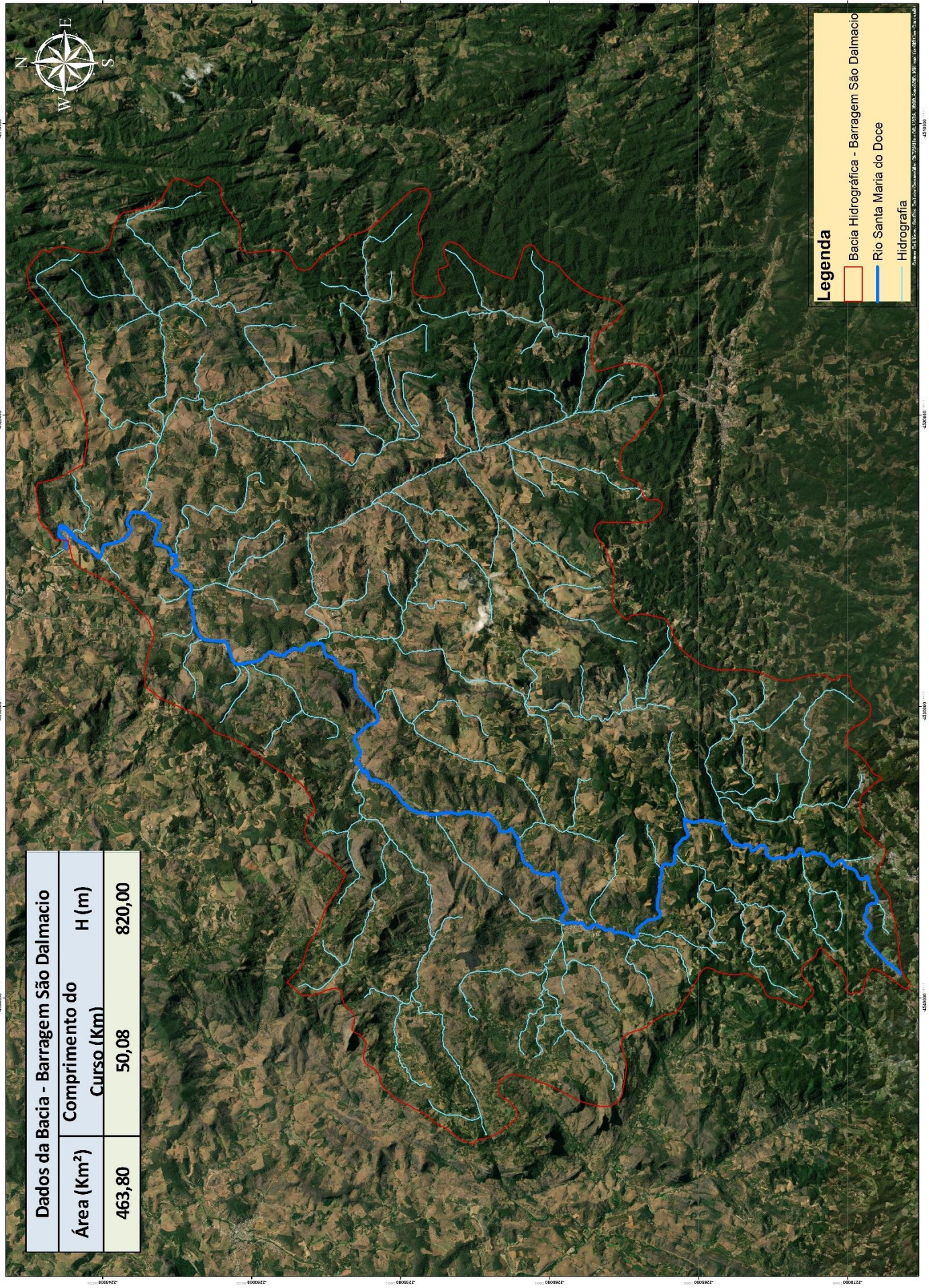
A bacia em questão faz parte da Bacia do Santa Maria do Rio Doce, Região 4 – Otto Bacias, abaixo a representação da bacia em relação a essa classificação:



*Figura 1.1.2: Bacia Hidrográfica – Representação – OttoBacias – Nível 4*

O mapa detalhado da bacia e apresentado a seguir, de modo que os principais parâmetros apurados para a bacia em questão foram, a área de 463,80 Km<sup>2</sup>, comprimento do curso d'água principal de 50,08 km e desnível em torno de 820 m.







### 1.3 CLIMA E ZONAS NATURAIS

A caracterização do clima do estado do Espírito Santo, conforme INCAPER e derivada do estudo de zonas naturais, é classificado em 9 zonas naturais, segundo mapa apresentado a seguir:

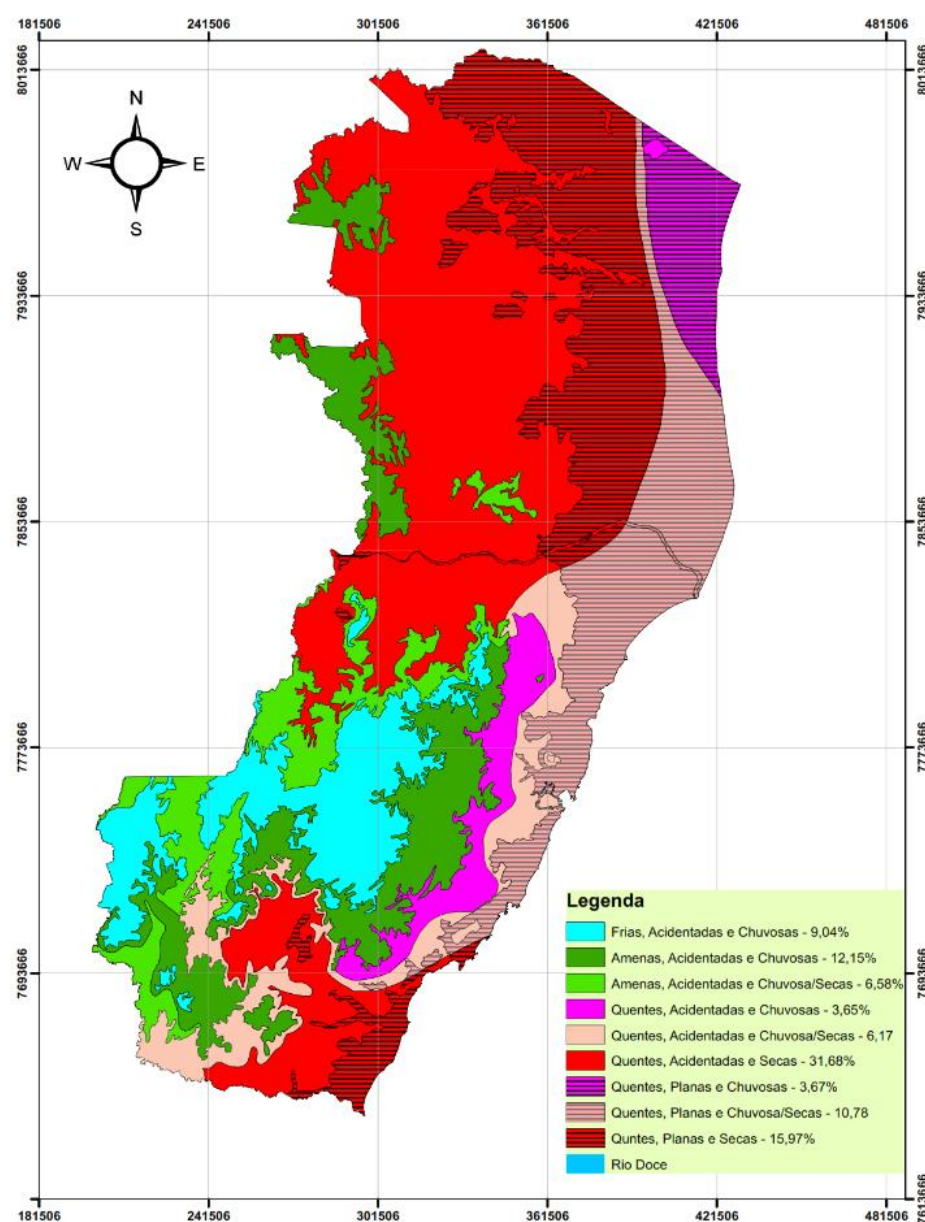


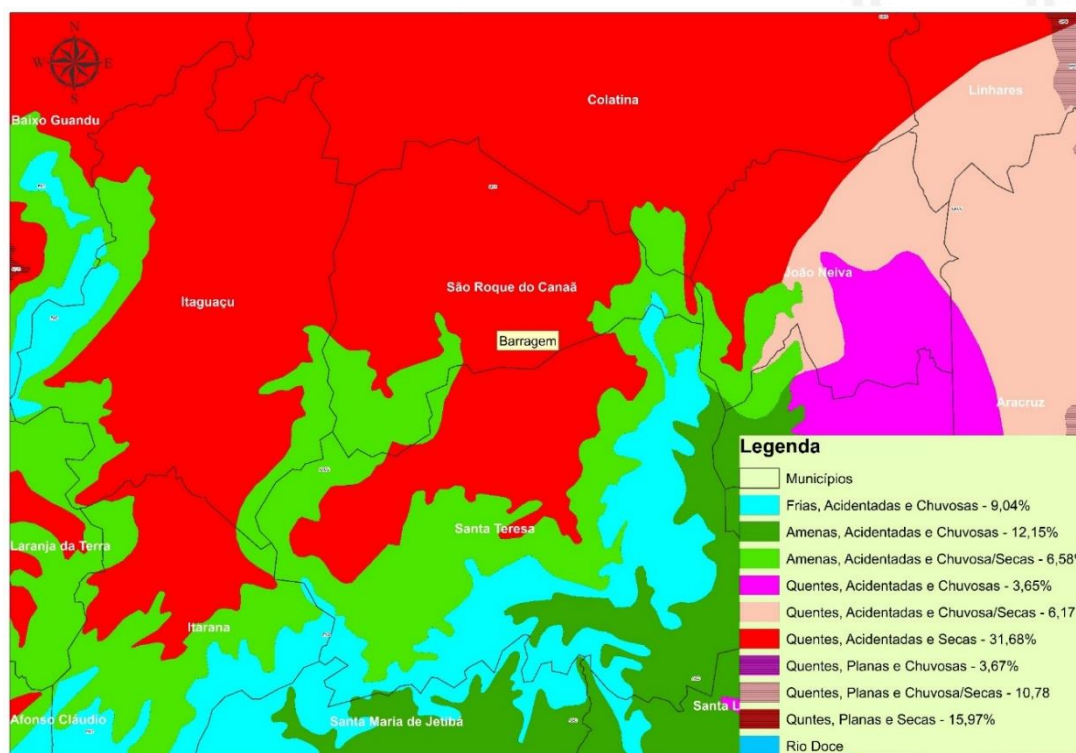
Figura 1.1.2: Zonas Naturais do Espírito Santo

O barramento está localizado dentro do município de São Roque de Canaã, conforme mapa abaixo apresentado:



*Figura 1.1.3: Localização do Barramento*

Segundo o Incaper, a barragem está inserida dentro de uma zona natural classificada como quente acidentada e seca, conforme figura a seguir:



*Figura 1.1.3: Zona Natural do Espírito Santo – Fonte:Incaper*

O município de São Roque do Canaã, segundo INCAPER, tem como classificação de suas zonas naturais a seguinte composição:

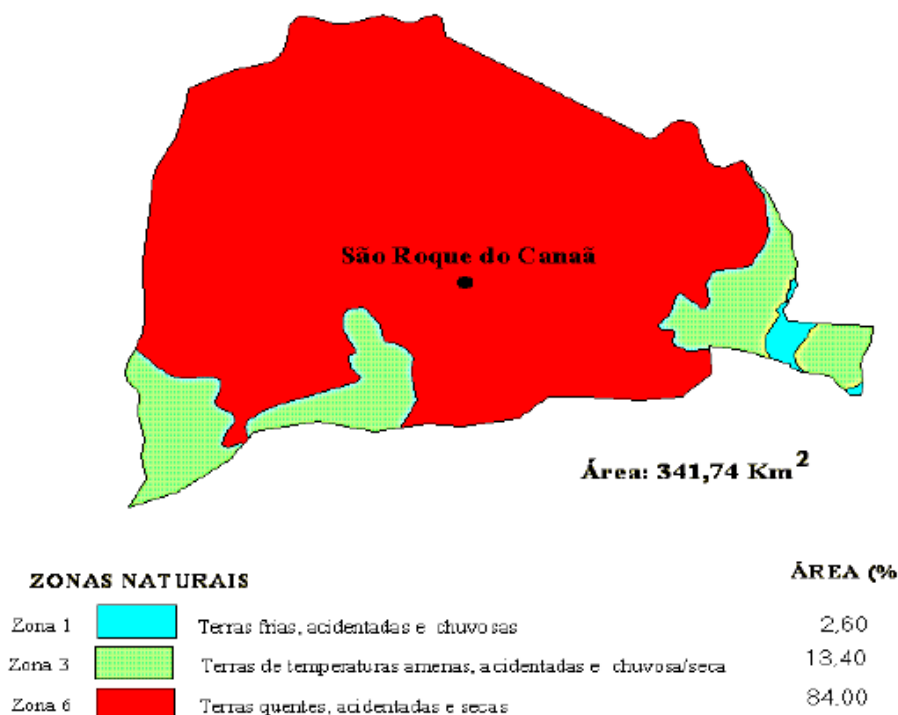





Figura 1.1.4: Zona Natural – São Roque do Canaã – Fonte:Incaper

ZONAS	Temperatura		Relevo	Nº Meses secos <sup>2</sup>	Água												
	média mín. mês mais frio (°C)	média máx. mês mais quente (°C)			Declividade	Meses secos, chuvosos/secos e secos <sup>3</sup>											
						J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Zona 1: Terras Frias, Acidentadas e Chuvosas 	7,3 – 9,4	25,3 - 27,8	> 8%	3,0	U	U	U	U	P	P	P	S	P	U	U	U	
Zona 3: Terras de Temperaturas Agradáveis, Acidentadas e Transição Chuvosa/Seca 	9,4 - 11,8	27,8 - 30,7	> 8%	4,5	U	U	U	U	P	S	S	S	S	U	U	U	
Zona 6: Terras Quentes, Acidentadas e Secas 	11,8 - 18,0	30,7 - 34,0	> 8%	7	U	P	P	P	S	S	S	S	S	P	U	U	

1 Fonte: Mapa de Unidades Naturais (EMCAPA/NEPUT, 1999);

2 Cada 2 meses parcialmente secos são contados como um mês seco;

3 U – chuvoso; S – seco; P- parcialmente seco.

Figura 1.1.5: Estatísticas das Zonas Naturais – São Roque do Canaã – Fonte:Incaper

Como se observa nos mapas acima apresentados a região de inserção do barramento está situado dentro da zona caracterizada como Zona 06 – Terras Quentes, Acidentadas e Secas. Com média de 7 meses secos.



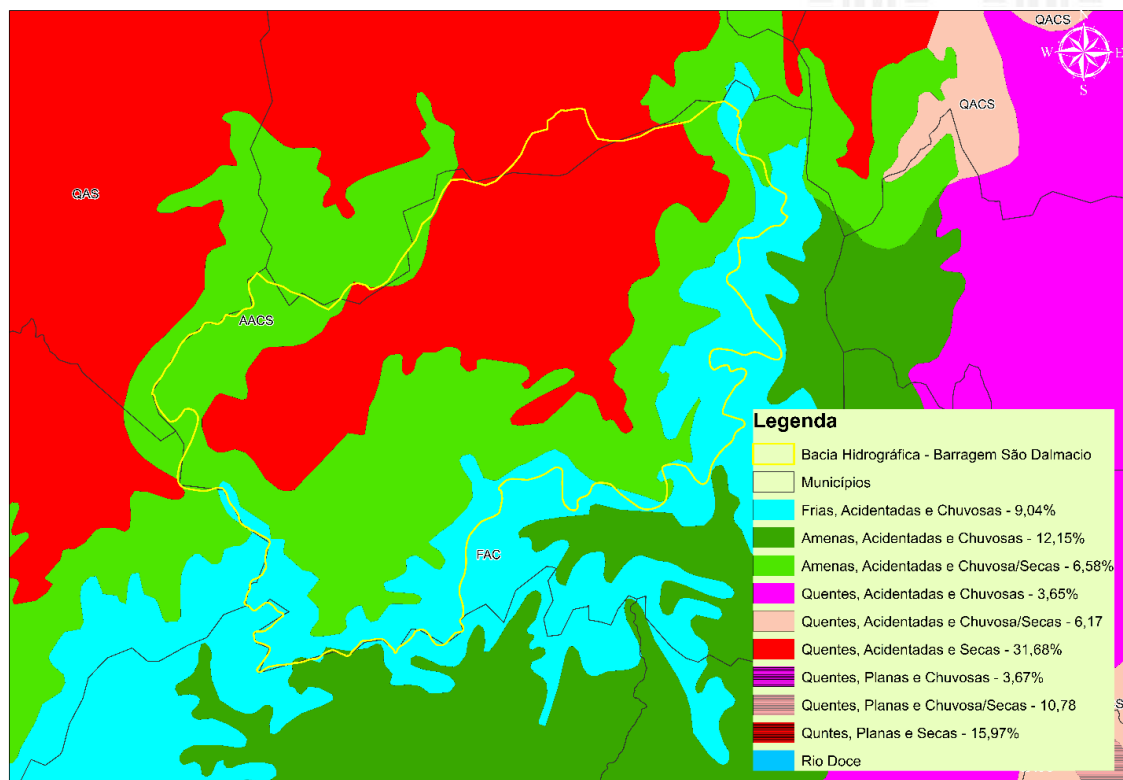


Figura 1.1.6: Estatísticas das Zonas Naturais – Bacia Hidrográfica – Fonte: Incaper

## 1.4 VEGETAÇÃO

A bacia hidrográfica em questão como apresentado anteriormente está inserida em grande parte no município de Santa Tereza, cerca de 98 % e 2 % no municio de São Roque do Canaã.

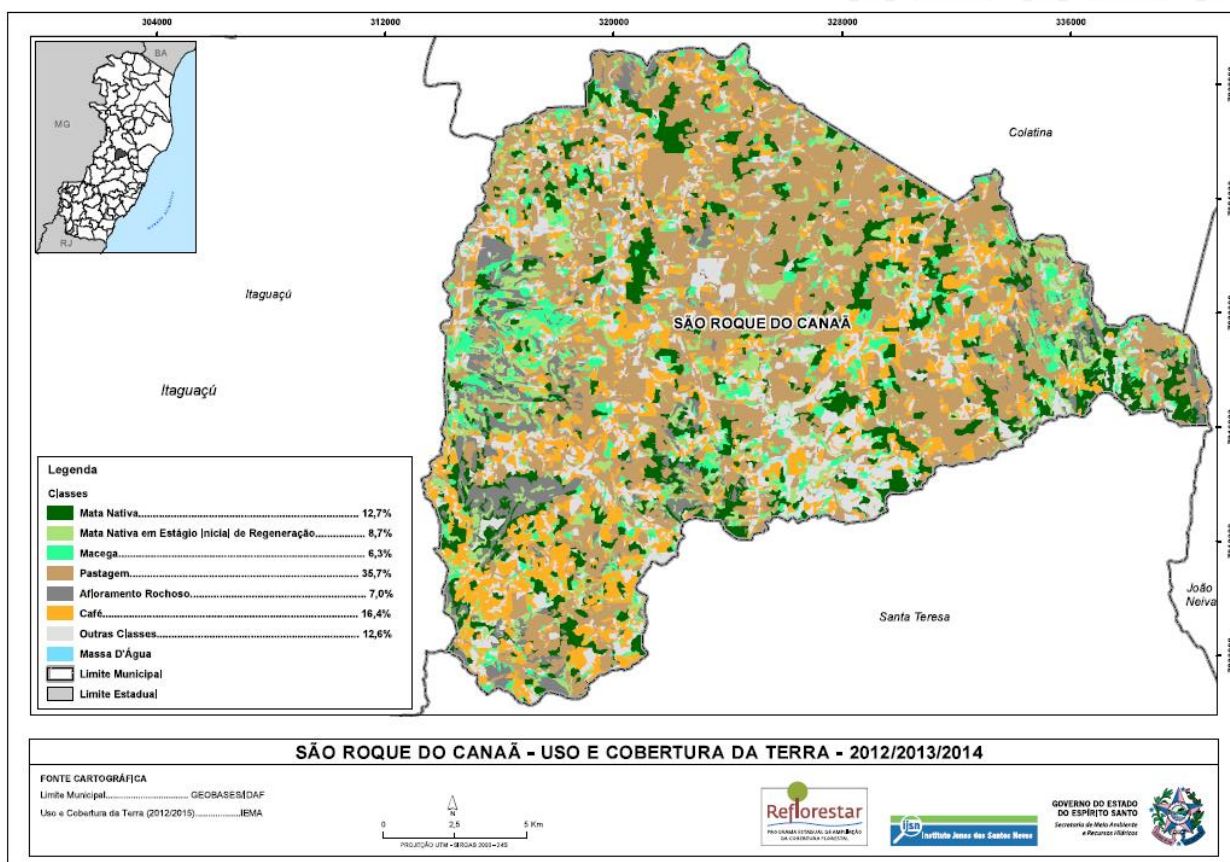


Figura 1.1.7: Cobertura do Uso do Solo – São Roque do Canaã Fonte: IJSN

Cerca de 21,40% do município de São Roque possui formação de Mata Nativa/Mata Nativa em estágio inicial de regeneração, assim como possui cerca de 35,7% como pastagem conforme mapas de uso de solo acima apresentado.

O município de Santa Tereza, possui a cobertura de solo conforme mapa abaixo:

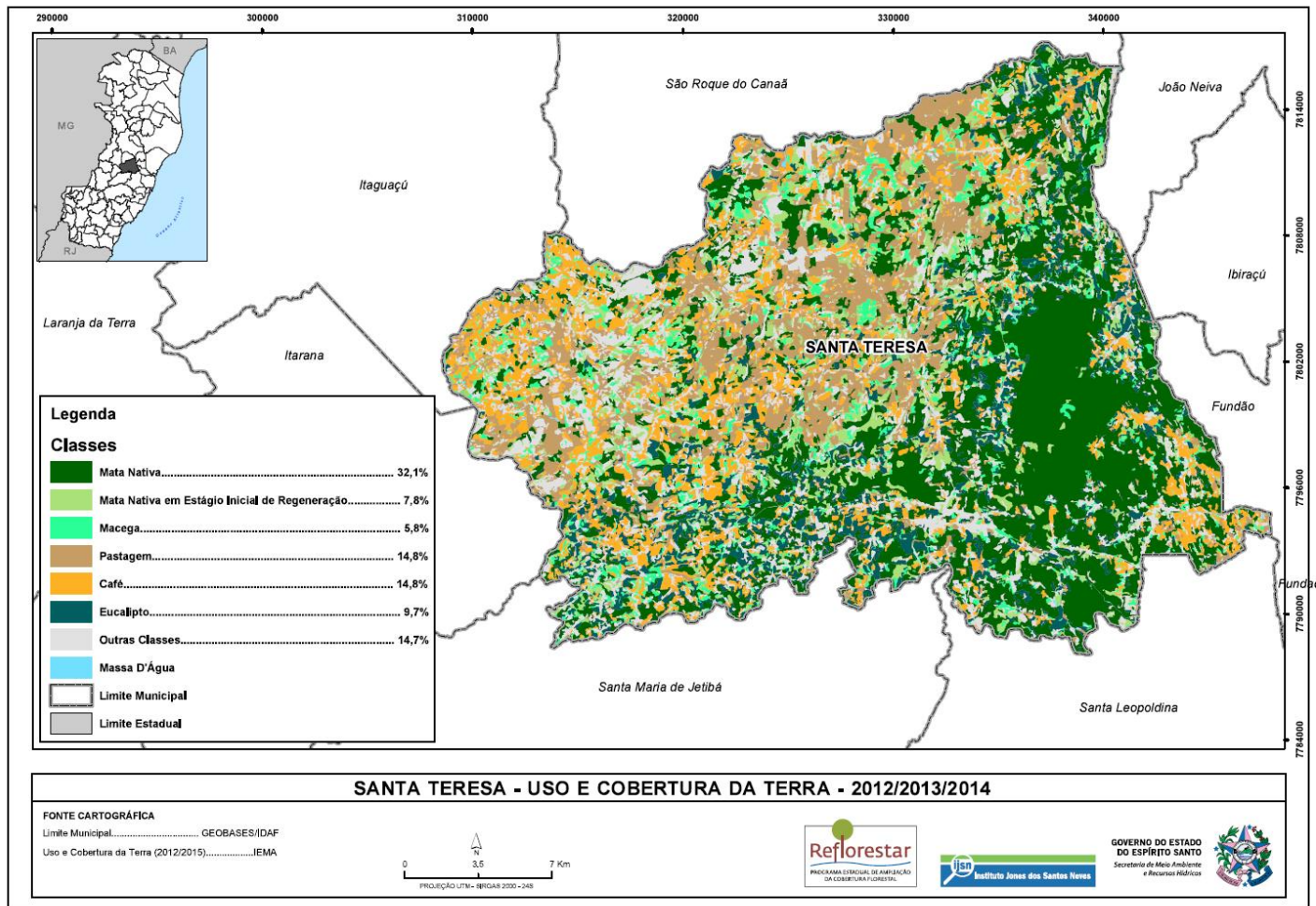


Figura 1.1.8: Cobertura do Uso do Solo – Santa Tereza – Fonte: IJSN

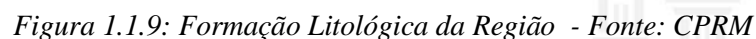
Cerca de 40,00% do município de Santa Tereza possui formação de Mata Nativa/Mata Nativa em estágio inicial de regeneração, assim como possui cerca de 14,8% como pastagem conforme mapas de uso de solo acima apresentado.

## 1.5 GEOLOGIA

Como já apresentado a área da bacia em questão abrange o município de Santa Tereza e São Roque do Canaã. O município de Santa Tereza. De acordo com CPRM (2013), encontra-se inserida no Orógeno Araçuai e representa o segmento setentrional da Província Mantiqueira, cujo sistema orogênico Brasileiro- Panafricano do paleocontinente Gondwana é um conjunto de orógenos neoproterozóicos diacrônicos (Brito-Neves et al., 1999; Almeida et al., 2000; Heilbron 18 et al., 2004, apud CPRM., 2013). O Cinturão Araçuai se faz presente através de uma litologia que possui paragneisses, representados pelo Complexo Nova Venécia e por ortogneisses, que também são denominados granitóides foliados (CPRM, 2013), tendo como exemplo a Suíte Alto Capim e ainda por maciços graníticos (CPRM,2013). Portanto, as rochas do município apresentam duas gêneses distintas, magmática, representadas pelas diversas litologias ígneas dos maciços, e metamórfica, representadas pelos orto e paragneisses. Os granitos se fazem presentes no Maciço Várzea Alegre. Em quantidade pequena existem ainda os depósitos aluviais, que ocorrem nos vales fluviais e apresentam idades mais recentes.



Segundo estudo do CPRM (2012) São Roque do Canaã localiza-se na porção central do Estado do Espírito Santo, em uma região geologicamente dominada por rochas do embasamento cristalino, geradas no Neoproterozóico (550-1000 milhões de anos). Um importante sistema de falhas geológicas (denominado Faixa Colatina), de direção NW/SE, imprime forte controle estrutural na formação do relevo regional, de configuração ondulada, caracterizado por morros de vertentes declivosas (em grande parte superiores a 45°). A seguir é apresentado um mapa com a formação litológica dentro da bacia e região de inserção do projeto.



## 2. PLUVIOMETRIA

O estudo da pluviometria da região de inserção da bacia iniciou-se pela pesquisa das estações pluviométricas que possam estar dentro ou nas proximidades do local de interesse. De tal forma, que foram pesquisadas na Agência Nacional das Águas (ANA) a disponibilidade de dados históricos sobre as estações pluviométricas do local em questão, O mapa abaixo representa as estações que possuem maior tempo de observação e a proximidade junto a bacia.

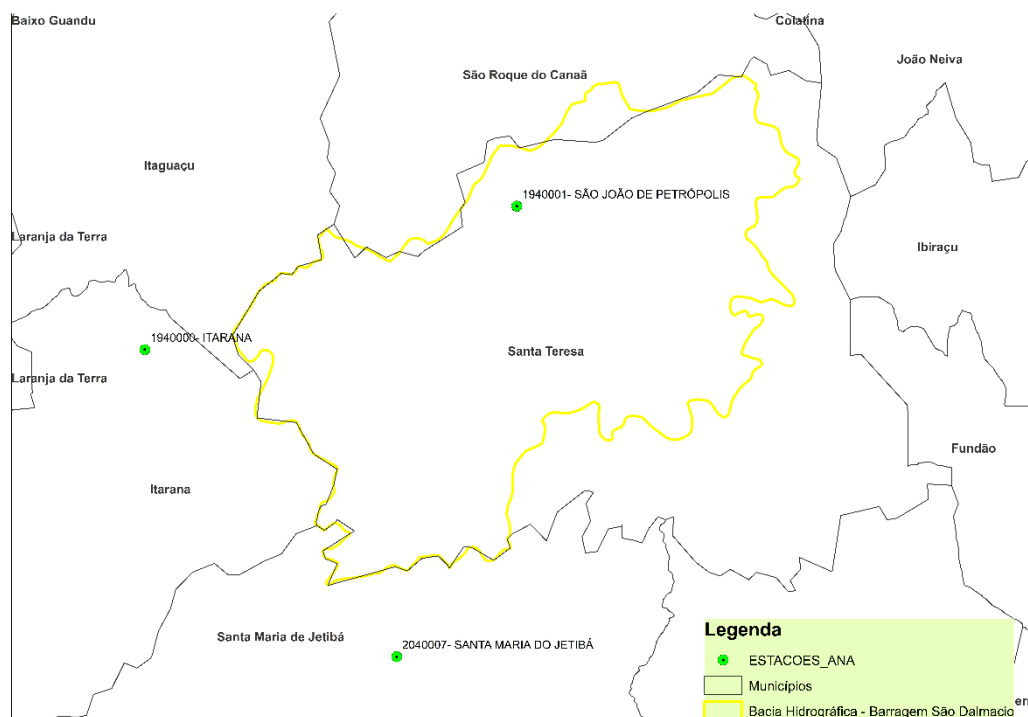


Figura 2.1.1: Estações Pluviométricas - Fonte: ANA

Quadro 2.1.1: Quadro de Estações Pluviométricas

Código da Estação	Nome da Estação	Início do Funcionamento
1940001	São João de Petrópolis	Agosto/ 1947
1940000	Itarana	Agosto/ 1947
2040007	Santa Maria de Jetibá	Setembro/ 1947

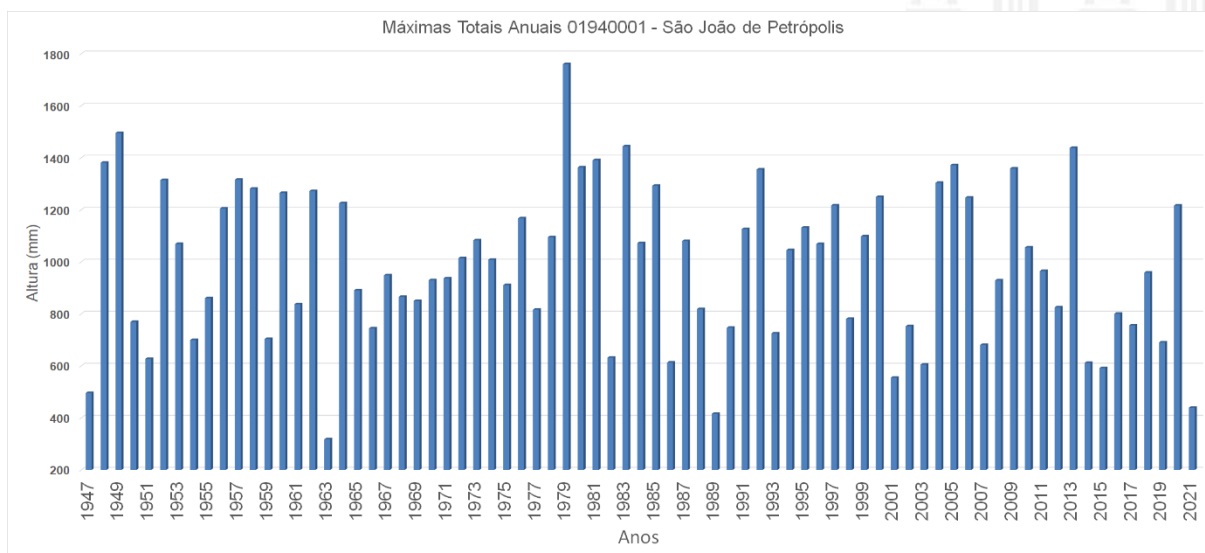


Gráfico 2.1.1: Máximas Totais Acumuladas Anuais – Estação 01940001 – São João de Petrópolis

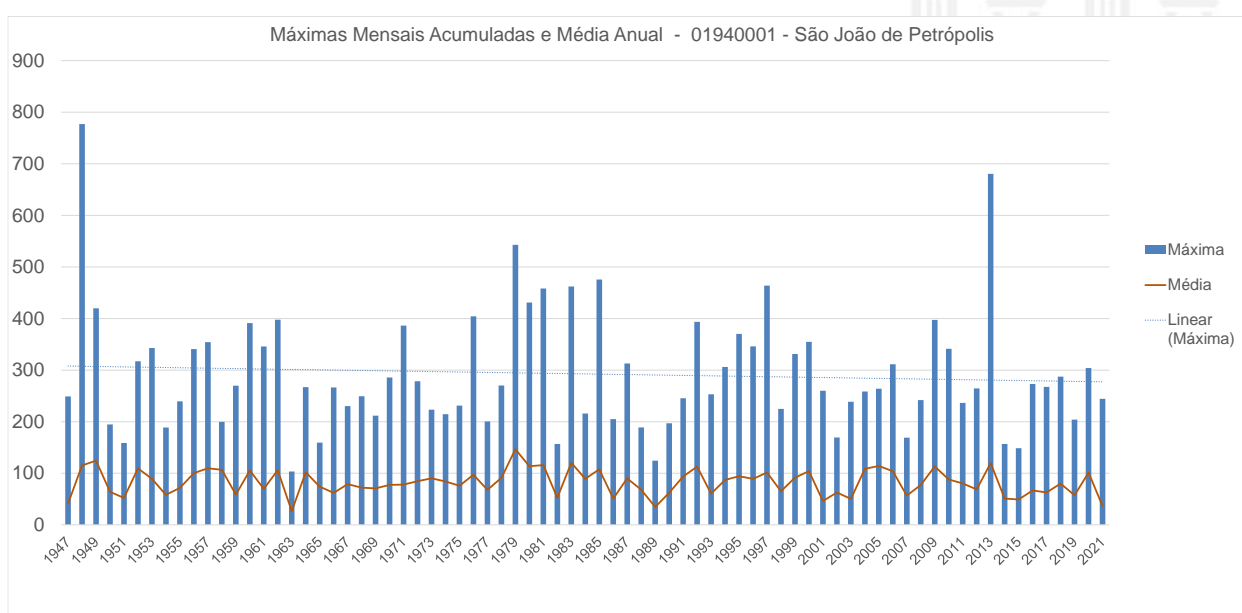


Gráfico 2.1.2- Máximas Mensais Acumuladas e Média Anual – Estação 01940001 – São João de Petrópolis



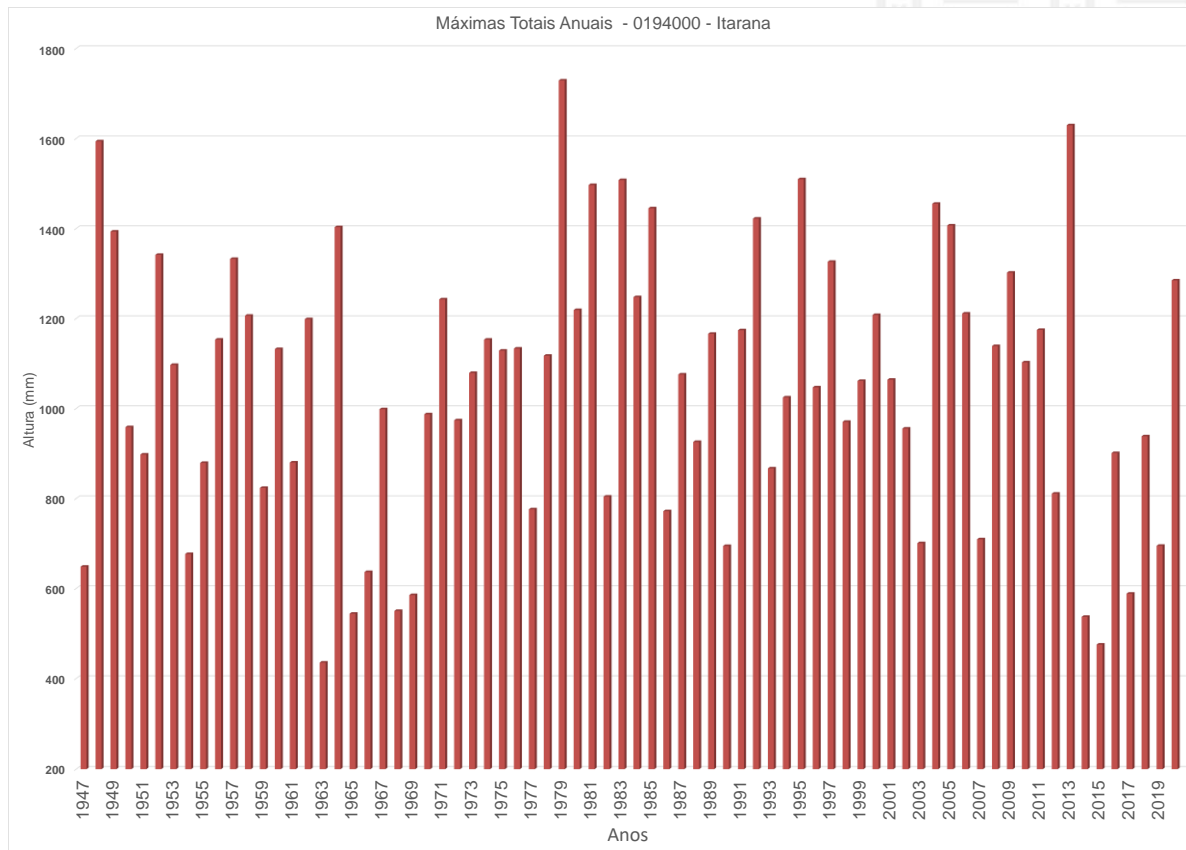


Gráfico 2.1.3: Máximas Totais Acumuladas Anuais – Estação 019400000 – Itarana

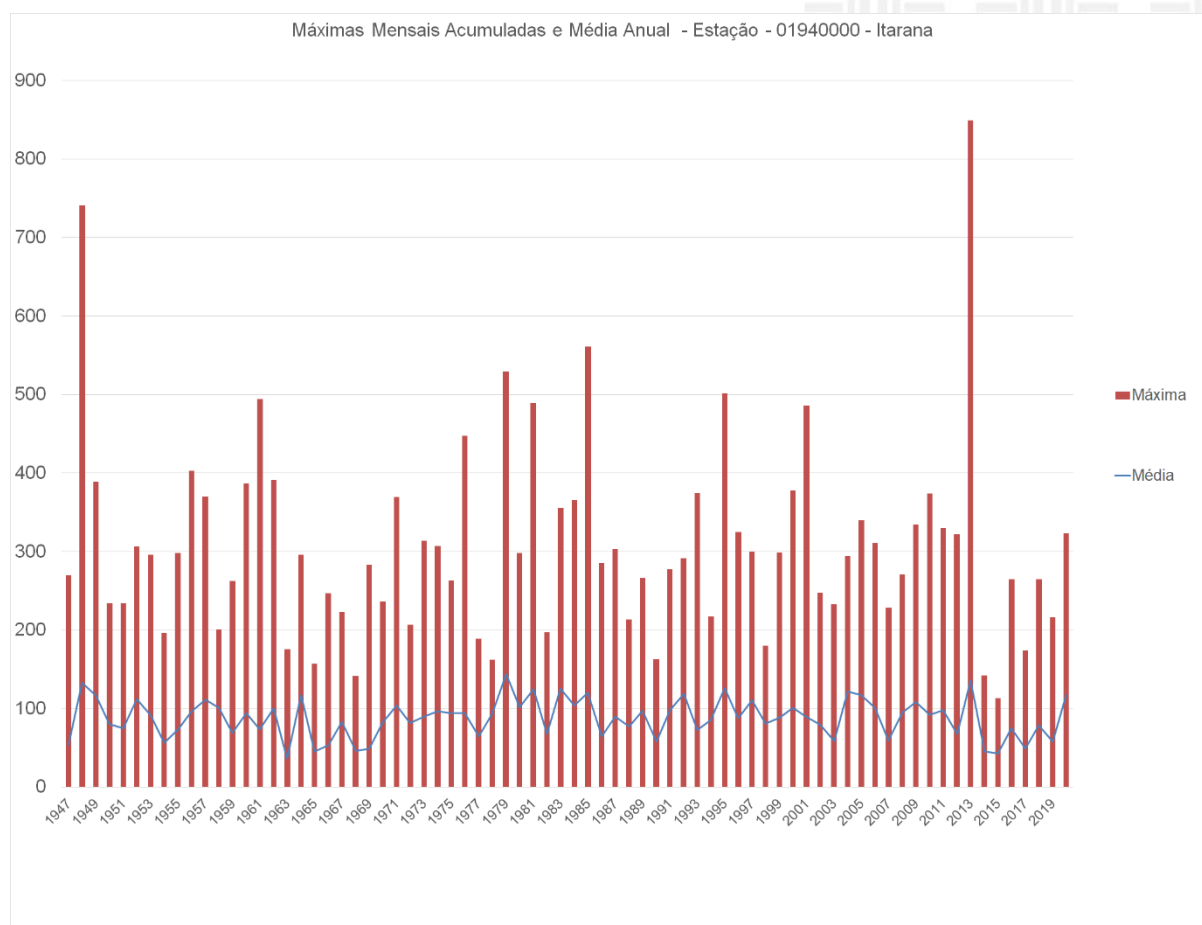
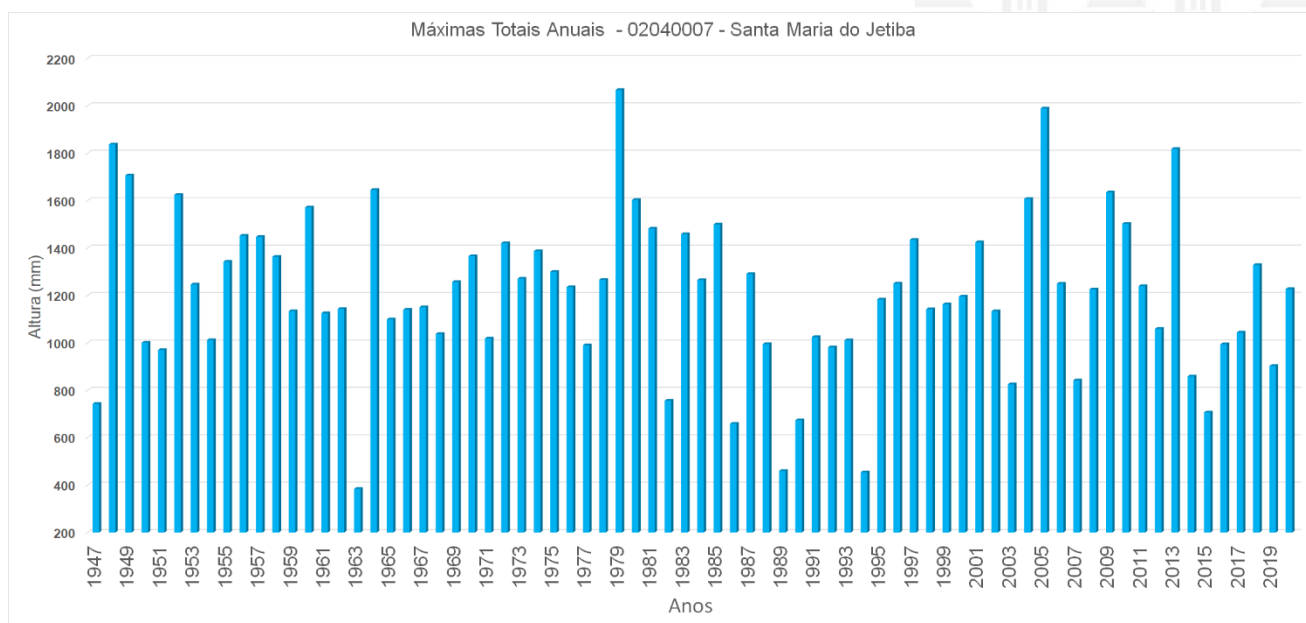
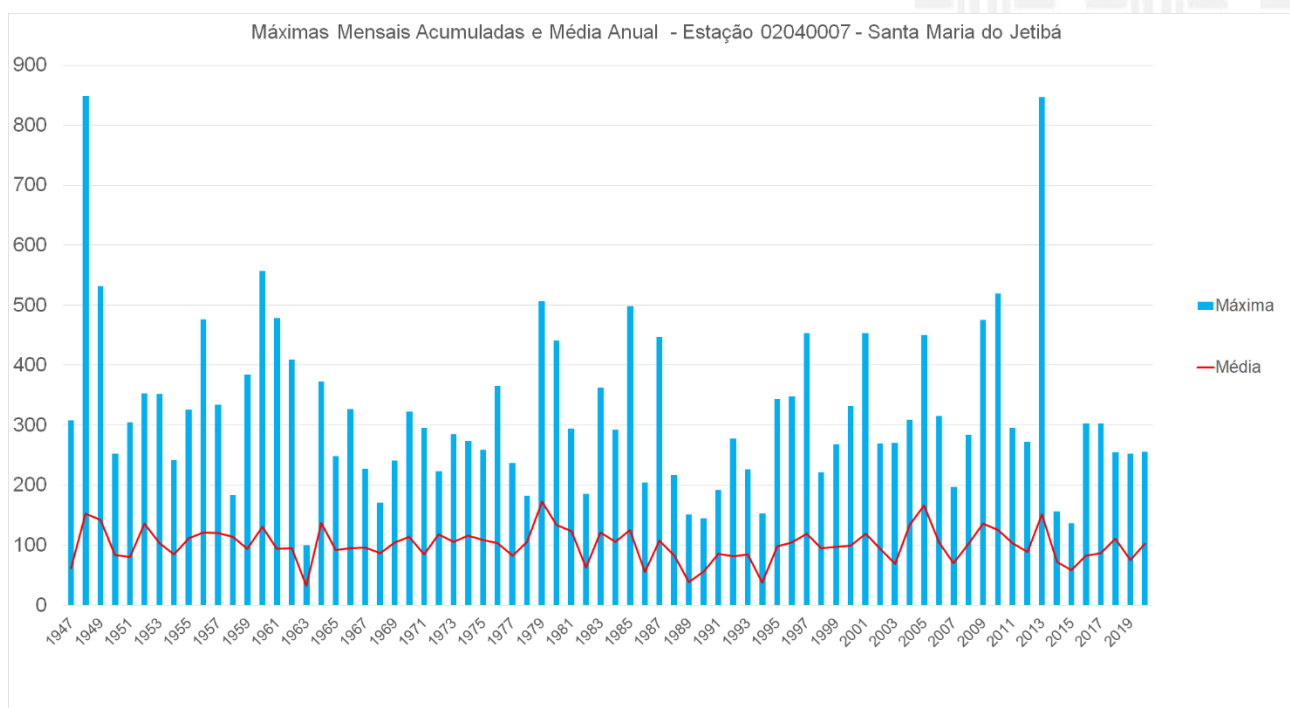


Gráfico 2.1.4- Máximas Mensais Acumuladas e Média Anual – Estação 019400000 – Itarana



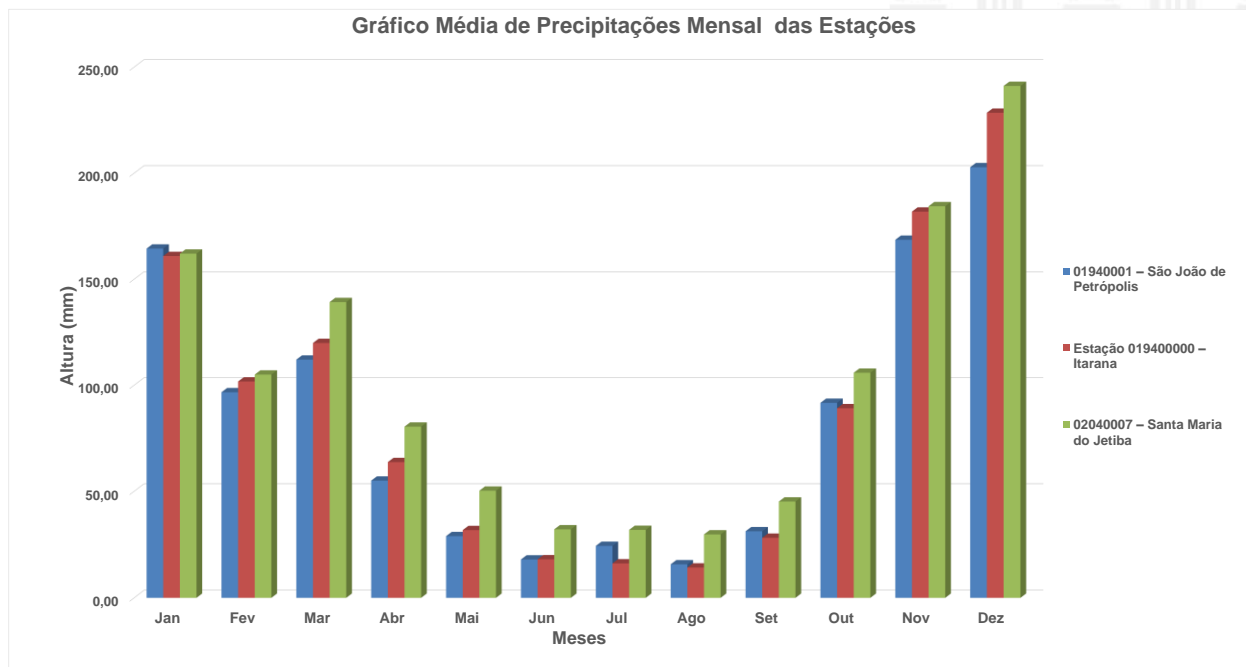
*Gráfico 2.1.3: Máximas Totais Acumuladas Anuais – Estação 02040007 – Santa Maria do Jetiba*



*Gráfico 2.1.4: Máximas Mensais Acumuladas e Média Anual – Estação 02040007 – Santa Maria do Jetiba*

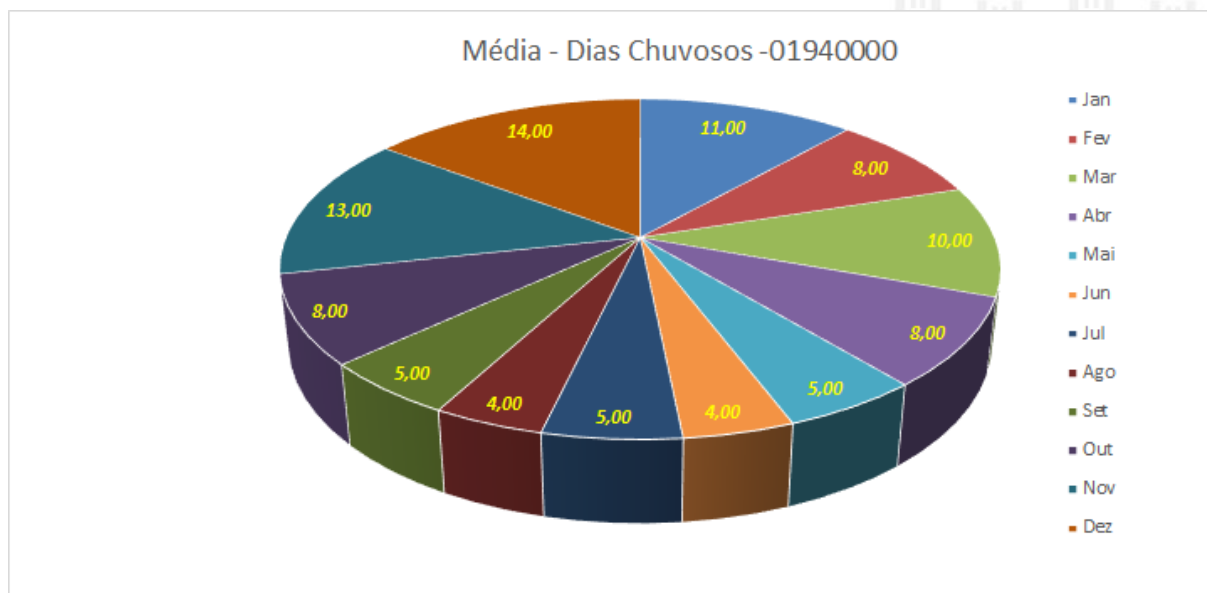
Os meses entre outubro a abril são os meses que possuem maiores intensidades pluviométricas. Enquanto que maio a setembro é o período com menor intensidade pluviométrica.

Utilizando os valores apurados em todas as estações, a média nos meses mais chuvosos é de 123,00 mm. O valor médio da pluviometria nos meses de menor intensidade é de 25,00 mm.



*Gráfico 2.1.5: Médias de Chuvas ao Longo do Mês – Estações Utilizadas*

Quando se apura a quantidade de dias chuvosos médio ao longo do período observado para cada estação temos as seguintes considerações:



*Gráfico 2.1.6: Média de Dias Chuvosos no mês – 0194000 – São João de Petrópolis*



Média - Dias Chuvosos - 1940001

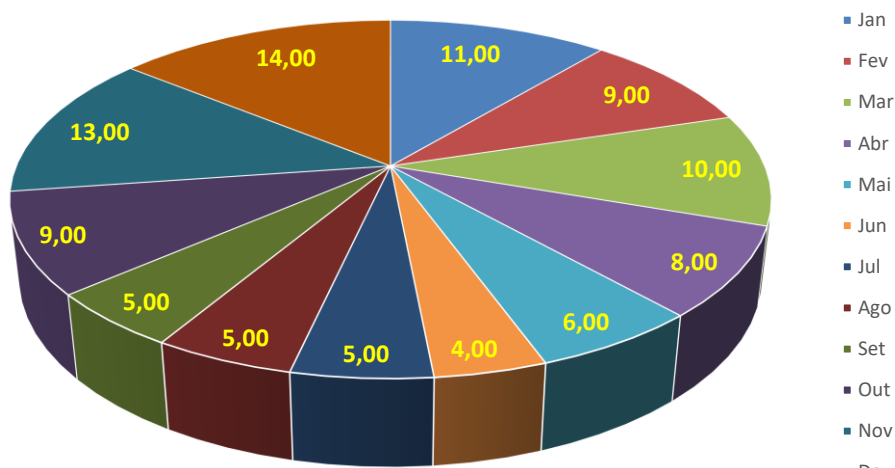


Gráfico 2.1.7: Média de Dias Chuvosos no mês – 1940000 – Itarana

Média - Dias Chuvosos - 02040007

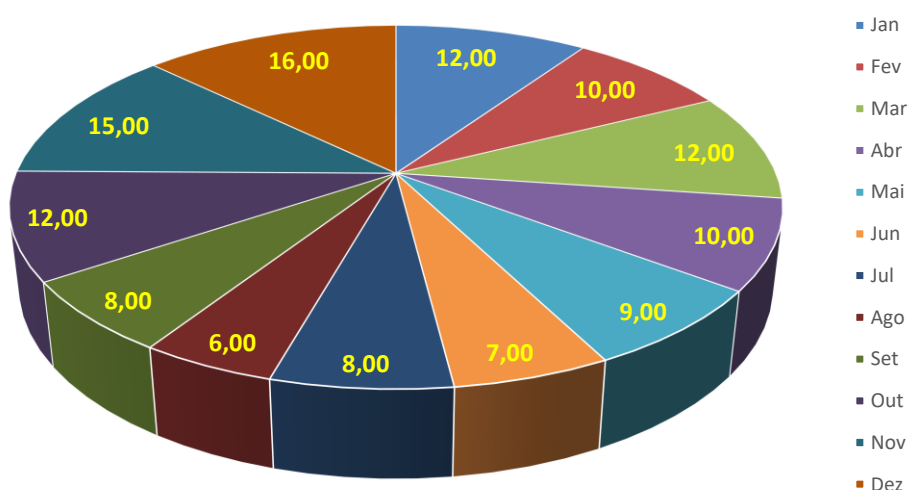


Gráfico 2.1.8: Média de Dias Chuvosos no mês – 02040007 – Santa Maria do Jetiba

Avaliando a quantidade médias de dias chuvosos agrupando os dados observados das 3 estações chega-se ao percentual de 31 % dos dias ao longo do ano com chuva e 69 % dos dias com seca e em valores absolutos temos uma média de 112 dias.

Quadro 2.1.2: Quadro de Dias Chuvosos - NDC

ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS		
Código	Estação	NDCA - Média
1940001	São João de Petrópolis	101,00
1940000	Itarana	104,00
2040007	Santa Maria do Jetiba	131,00
	Média	112,00
	U% CHUVOSO	30,68%
	U% SECO	69,32%

### 2.1- Cálculo das Precipitações Máximas

De modo a analisar a influência pluviométrica que os postos representam na bacia, foi utilizado o Método de Thiessen para verificar essa influência. Esse método determina a precipitação média em uma determinada área a partir das precipitações observadas nos postos disponíveis, incorporando um peso a cada um deles, em função de suas “áreas de influência”.

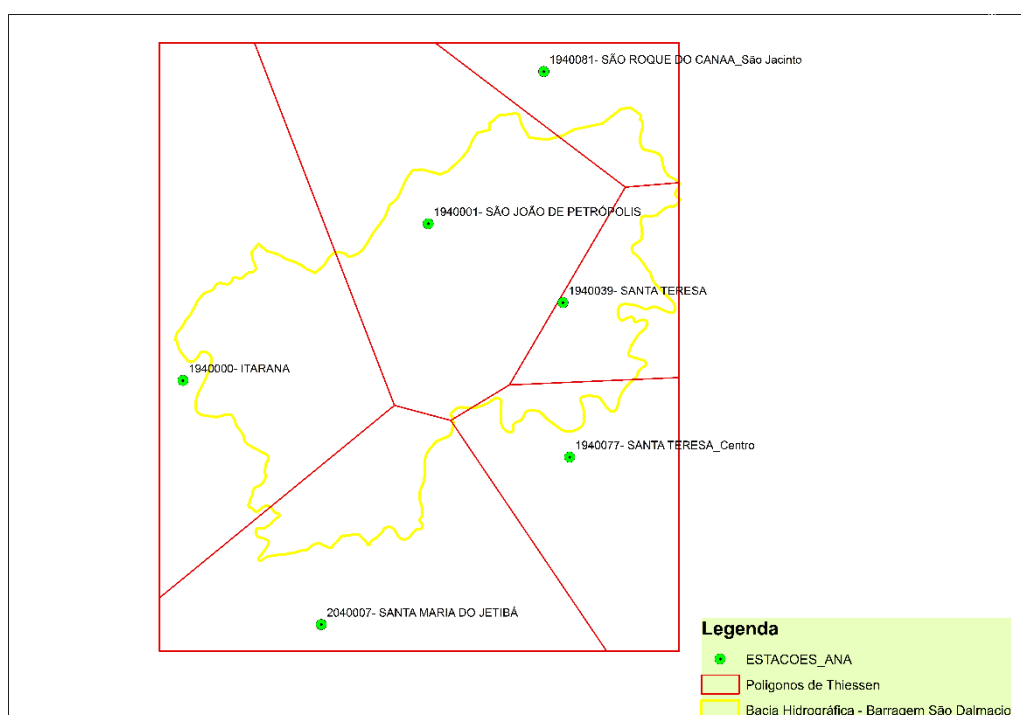


Figura 2.1.2: Polígonos de Thiessen

De modo a observar a influência das estações dentro da bacia, foram inseridas mais estações dentro da avaliação dos polígonos, porém essas estações tem um peso pequeno na bacia e ainda possuem séries históricas pequenas, comparadas com as 3 estações utilizadas.

O cálculo das precipitações máximas foi realizado com base na máxima precipitação diária apurada na série histórica da estação escolhida, utilizando-se o método estatístico de Chow-Gumbel, de forma a calcular a precipitação máxima com duração de 1 dia, para cada tempo de recorrência e retorno, conforme cálculos apresentados a seguir.

Os cálculos das precipitações tiveram início da análise das máximas precipitações diárias ao longo da série histórica:

*Quadro 2.1.3: Precipitações Máximas Diárias – Estação 1940001*

ESTAÇÃO 1940001 - SÃO JOÃO DE PETRÓPOLIS															
ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)
1947	54	1957	138	1967	116	1977	65	1987	60	1997	81	2007	104	2017	68
1948	33	1958	104	1968	44	1978	49	1988	87	1998	124	2008	67	2018	48
1949	49	1959	91	1969	86	1979	56	1989	45	1999	67	2009	74	2019	102
1950	72	1960	59	1970	55	1980	100	1990	60	2000	99	2010	107	2020	78
1951	42	1961	96	1971	44	1981	80	1991	66,4	2001	75	2011	121		
1952	31	1962	53	1972	67	1982	125	1992	63,8	2002	56	2012	46		
1953	96	1963	45	1973	56	1983	51	1993	51,6	2003	73	2013	65		
1954	93	1964	46	1974	51	1984	92	1994	40	2004	61	2014	44		
1955	42	1965	56	1975	137	1985	133	1995	108	2005	56	2015	61		
1956	52	1966	62	1976	71	1986	51	1996	65,4	2006	53	2016	67		

*Quadro 2.1.4: Precipitações Máximas Diárias – Estação 1940000*

ESTAÇÃO 1940000 - ITARANA															
ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)
1947	71	1957	82	1967	62	1977	76	1987	136,6	1997	94	2007	48	2017	65
1948	86	1958	86	1968	36	1978	62	1988	61,8	1998	39	2008	72	2018	60
1949	92	1959	91	1969	52	1979	91	1989	82,8	1999	70	2009	91	2019	52
1950	73	1960	62	1970	67	1980	117	1990	57,4	2000	150	2010	165	2020	87
1951	91	1961	117	1971	82	1981	135	1991	60,6	2001	95	2011	101		
1952	77	1962	82	1972	77	1982	80	1992	68,9	2002	63	2012	98		
1953	109	1963	50	1973	71	1983	79	1993	116,5	2003	50	2013	148		
1954	42	1964	79	1974	62	1984	57	1994	58,2	2004	99	2014	56		
1955	66	1965	75	1975	77	1985	67	1995	102,2	2005	100	2015	23		
1956	84	1966	58	1976	84	1986	70	1996	71	2006	117	2016	56		



Quadro 2.1.4: Precipitações Máximas Diárias – Estação 2040007

ESTAÇÃO 2040007 - SANTA MARIA DO JETIBA															
ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)	ANO	P(m)
1947	45	1957	81	1967	45	1977	64	1987	95	1997	96	2007	69	2017	53
1948	93	1958	50	1968	45	1978	47	1988	55,2	1998	55	2008	94	2018	72
1949	50	1959	52	1969	61	1979	86	1989	65,3	1999	80	2009	88	2019	64
1950	100	1960	100	1970	89	1980	106	1990	51	2000	53	2010	78	2020	79
1951	41	1961	128	1971	36	1981	53	1991	85	2001	110	2011	55		
1952	86	1962	79	1972	81	1982	55	1992	62,2	2002	39	2012	81		
1953	88	1963	37	1973	82	1983	73	1993	104,3	2003	86	2013	44		
1954	49	1964	75	1974	74	1984	69	1994	49,5	2004	72	2014	72		
1955	46	1965	111	1975	100	1985	122	1995	60,5	2005	104	2015	46		
1956	49	1966	56	1976	85	1986	41	1996	88,3	2006	75	2016	63		

De modo a analisar o comportamento das precipitações para subsidiar a elaboração do projeto de drenagem utilizaram-se a distribuição de Gumbel, utilizando a seguinte metodologia:

$$\beta = 6^{0.5} \cdot S / \pi$$

$$\alpha = (\mu - 0,577 \cdot \beta)$$

onde S é o desvio padrão e a média das precipitações máximas.

Na distribuição de Gumbel temos:

$$P(1 \text{ dia}; T) - \alpha/\beta = -\ln(-\ln(1/F(P(\text{dia}; T))))$$

$$F(P(\text{dia}; T)) = 1 - (1/T)$$

T= período de retorno e

ln= logaritmo neperiano.

Os valores das precipitações para o posto de referência para 1 dia foram calculados e estão apresentados na tabela a seguir para cada posto pluviométrico.

Por meio da distribuição dos polígonos de Thiessen das estações foram ponderadas e calculadas as precipitações para os períodos de retorno apresentados pelo método.

Quadro 2.1.5: Distribuição de Gumbel – Estações

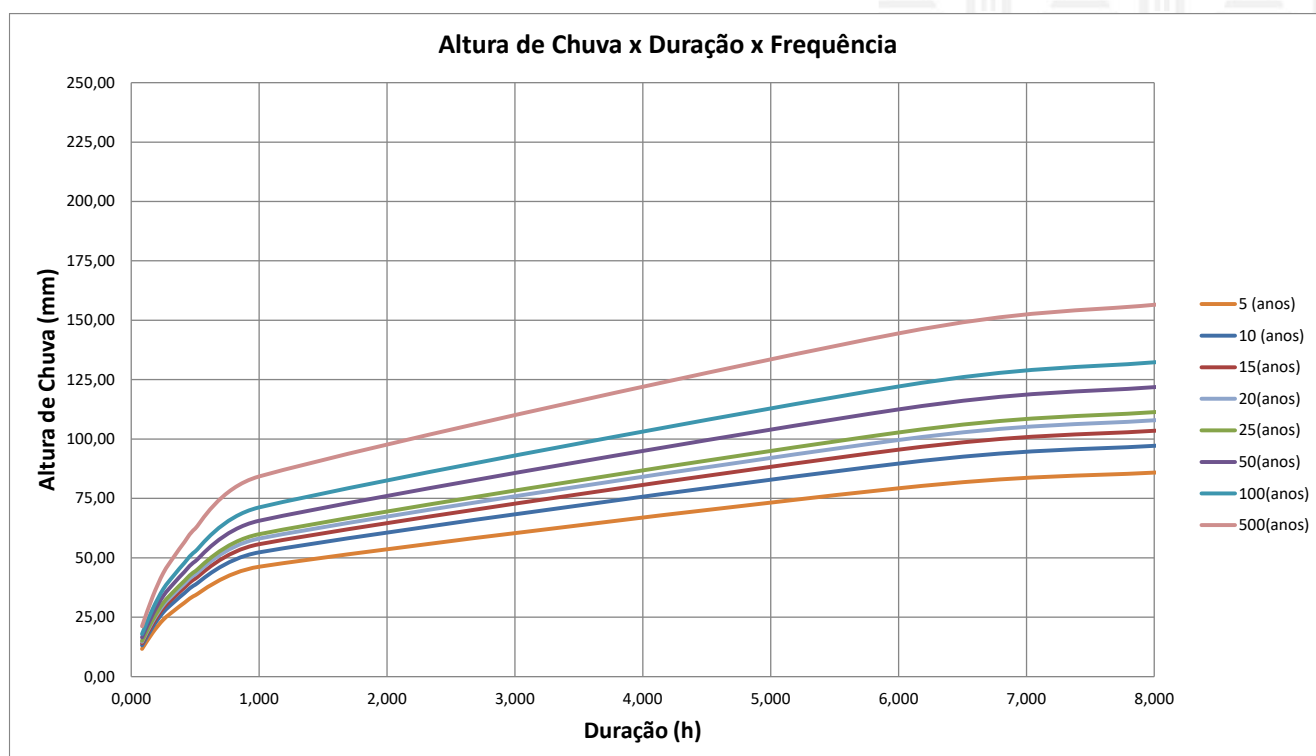
Distribuição Ponderada - Thiessen das Estações									
Variáveis	Valores Utilizados na Distribuição de Gumbel								
$\beta$	17	17	17	17	17	17	17	17	17
$\alpha$	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93	71,93
Período de Retorno	2	5	10	15	20	25	50	100	500
F(1 dia, T)	0,5	0,8	0,9	0,93	0,95	0,96	0,98	0,99	0,998
P(1 dia; T) mm	78,16	97,42	110,18	117,38	122,42	126,30	138,26	150,13	177,56

Os gráficos e quadros resultantes de altura, intensidade, duração e frequência para o cenário proposto é o seguinte:

Quadro 2.1.6: Altura Pluviométrica

Altura Pluviométrica (mm)									
Duração da Chuva	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	15(anos)	20(anos)	25(anos)	50(anos)	100(anos)	500(anos)
5min	9,33	11,63	13,16	14,02	14,62	15,08	16,51	17,93	21,20
10min	14,82	18,48	20,90	22,26	23,22	23,95	26,22	28,47	33,67
15min	19,21	23,95	27,09	28,86	30,10	31,05	33,99	36,91	43,65
20min	22,23	27,71	31,34	33,39	34,83	35,93	39,33	42,71	50,51
25min	24,98	31,14	35,21	37,51	39,12	40,37	44,19	47,98	56,75
30min	27,45	34,22	38,70	41,22	42,99	44,36	48,56	52,73	62,36
1h	37,09	46,24	52,29	55,71	58,10	59,94	65,62	71,25	84,27
6h	63,59	79,26	89,64	95,50	99,60	102,76	112,49	122,14	144,46
8h	68,89	85,87	97,11	103,46	107,90	111,32	121,86	132,32	156,50
10h	72,42	90,27	102,09	108,76	113,43	117,03	128,11	139,11	164,52
12h	75,07	93,58	105,83	112,74	117,58	121,31	132,80	144,20	170,54
24h	88,32	110,09	124,51	132,64	138,33	142,72	156,23	169,64	200,64

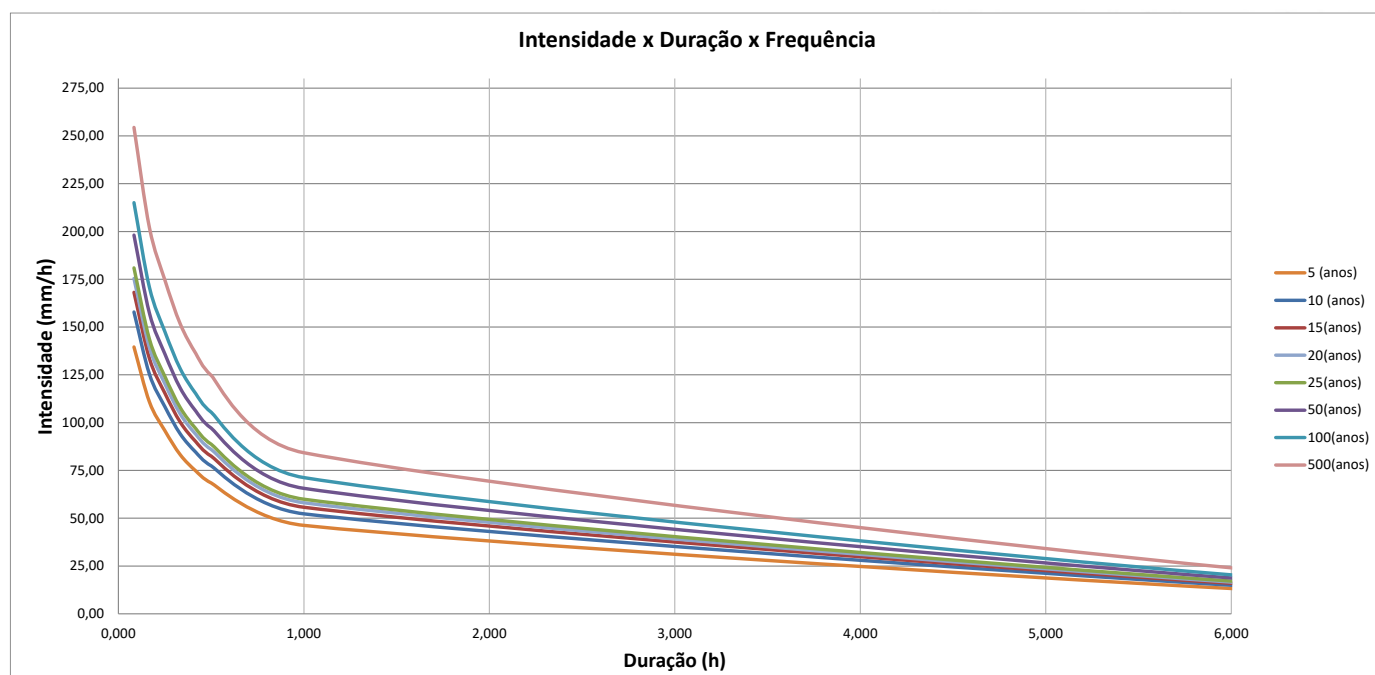
Gráfico 2.1.9: Altura X Duração x Frequência



Quadro 2.1.6: Intensidade de Chuva

Intensidade de Chuva (mm/h)									
Duração da Chuva	2 (anos)	5 (anos)	10 (anos)	15(anos)	20(anos)	25(anos)	50(anos)	100(anos)	500(anos)
5min	111,99	139,60	157,88	168,19	175,42	180,98	198,11	215,12	254,42
10min	88,93	110,86	125,38	133,57	139,30	143,72	157,32	170,83	202,04
15min	76,86	95,80	108,35	115,43	120,38	124,20	135,96	147,63	174,60
20min	66,70	83,14	94,03	100,17	104,48	107,79	117,99	128,12	151,53
25min	59,95	74,73	84,51	90,03	93,90	96,88	106,05	115,15	136,19
30min	54,90	68,43	77,39	82,45	85,99	88,71	97,11	105,45	124,72
1h	37,09	46,24	52,29	55,71	58,10	59,94	65,62	71,25	84,27
6h	10,60	13,21	14,94	15,92	16,60	17,13	18,75	20,36	24,08
8h	8,61	10,73	12,14	12,93	13,49	13,92	15,23	16,54	19,56
10h	7,24	9,03	10,21	10,88	11,34	11,70	12,81	13,91	16,45
12h	6,26	7,80	8,82	9,40	9,80	10,11	11,07	12,02	14,21
24h	3,68	4,59	5,19	5,53	5,76	5,95	6,51	7,07	8,36

Gráfico 2.1.10: Altura X Duração x Frequência



### 3. FLUVIOMETRIA

O estudo da rede hidrográfica da região, assim como a pesquisas da existência de postos fluviométricos que representam a bacia em questão e a base do estudo da fluviometria.

A bacia como já exposto no estudo, está inserido dentro da região da Bacia do Santa Maria do Rio Doce, conforme figura abaixo:

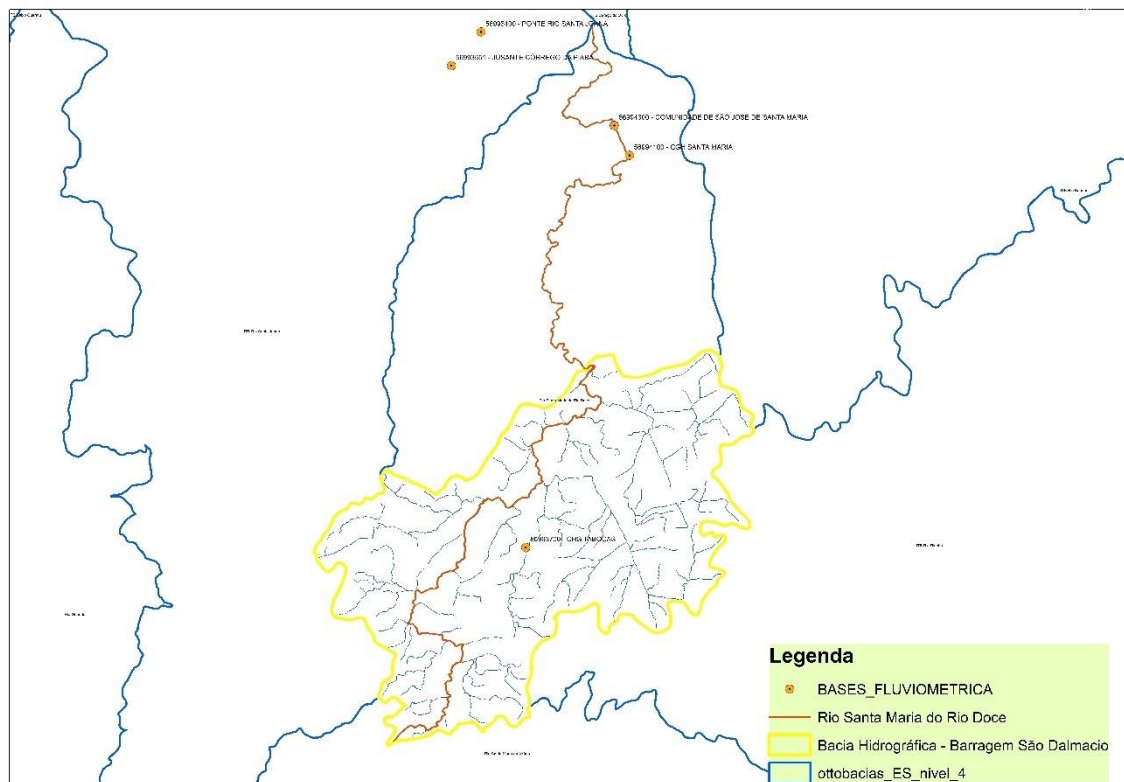


Figura 3.1.1: Região de Inserção da Bacia

As estações de monitoramento fluviométrico dentro da bacia e no curso d'água, são as estações 56993700 – CHG Tabocas, 56994100 – CGH Santa Maria e 56994300 – Comunidade de São José, essa operada pela AGERH e com apenas qualidade de água e início datado de 2017. A estação 56994100 e 56993700 de operação da Santa Maria Energia, e os dados não estão sendo disponibilizados pelo site da ANA.

Duas estações que estão desativadas mais possuem um histórico de vazões para a região de interesse são as estações de 56994000 – Santa Maria.

Para realização da análise estatística para levantamento dos dados de vazão será utilizado as seguintes estações:

Quadro 3.1.1: Quadro dos Postos Fluviométricos

Estação	Código	Rio	Município	Início da operação	Area (km²)
Santa Maria	56994000	Santa Maria	Colatina	Janeiro/1941 a agosto de 1967	872,00
Corrego da Piaba	5699351	Santa Joana	Colatina	Janeiro/1974	893,00



Pancas	56995500	Pancas	Colatina	Setembro/1975	920,00
--------	----------	--------	----------	---------------	--------

➤ **Vazões Média Observadas**

O posto que localizado Rio Santa Maria, 56994000 foi utilizado para levantamentos de dados históricos de vazões mínimas, médias e máximas. Esses valores serão correlacionados com as vazões das outras bacias dos outros postos para efeito de comparação e complementação de series históricas.

A curva de permanência diária para essa estação e a seguinte:

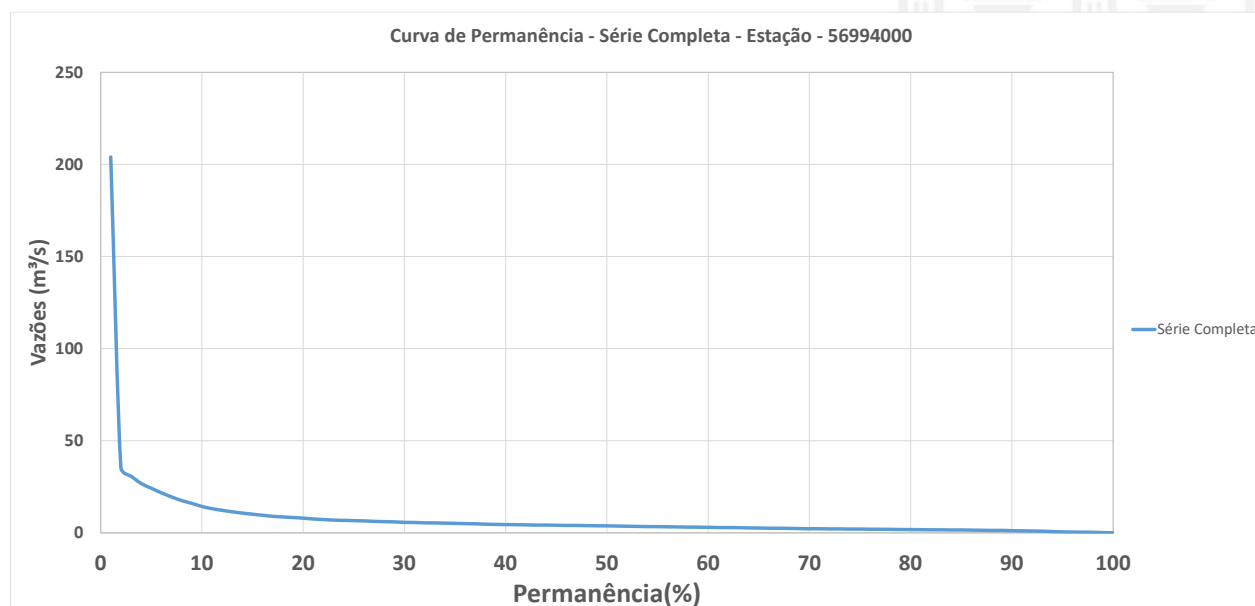


Gráfico 3.1.1: Curva de Permanência Diária

**Quadro 3.1.2: Quadro de Permanência das Vazões Diárias**

CURVA DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS - RESUMO - 56994000																				
Série	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%
Completa	0,0	0,5	1,1	1,5	1,8	2,0	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	4,1	4,5	5,1	5,7	6,6	8,0	10,1	14,3	24,2
Jan	0,00	1,69	2,67	3,37	3,89	4,37	5,00	5,39	6,36	7,20	7,95	9,18	11,00	12,90	16,20	20,20	23,60	26,70	30,20	39,10
Fev	0,10	1,67	2,58	3,26	3,58	3,79	4,09	4,33	5,02	5,60	6,33	6,74	7,65	8,66	10,50	12,40	14,80	19,00	23,90	33,20
Mar	0,27	1,22	1,94	2,67	3,37	3,79	4,10	4,38	5,12	5,60	6,20	6,90	7,95	8,96	10,30	11,80	13,30	17,80	20,90	28,00
Abr	0,23	0,74	1,94	2,48	2,86	3,35	3,89	4,10	4,45	4,91	5,36	5,93	6,47	6,90	7,65	8,60	10,00	11,60	14,50	20,50
Mai	0,09	0,48	1,30	1,94	2,10	2,39	2,83	3,01	3,26	3,67	3,89	4,10	4,40	4,79	5,24	5,66	6,20	6,74	8,57	11,30
Jun	0,01	0,34	1,06	1,62	1,94	2,10	2,29	2,46	2,61	2,96	3,05	3,35	3,47	3,68	3,98	4,40	5,02	5,39	6,06	7,35
Jul	0,00	0,34	0,90	1,46	1,62	1,77	1,91	2,02	2,10	2,21	2,48	2,86	3,05	3,35	3,58	3,98	4,33	4,64	5,17	6,47
Ago	0,23	0,77	1,12	1,30	1,46	1,54	1,67	1,75	1,78	1,91	2,05	2,20	2,30	2,65	2,96	3,18	3,56	3,98	4,19	5,25
Set	0,23	0,38	0,66	0,98	1,14	1,38	1,54	1,62	1,62	1,70	1,86	1,99	2,20	2,39	2,48	2,86	3,37	3,98	4,22	4,77
Out	0,19	0,45	0,66	0,90	1,14	1,38	1,54	1,62	1,76	1,94	2,08	2,24	2,48	2,77	3,16	3,77	4,07	4,78	5,36	6,74
Nov	0,11	0,38	0,82	1,46	1,76	2,10	2,67	3,05	3,46	3,98	4,37	4,91	5,48	5,89	6,46	7,20	8,64	10,50	12,90	17,90
Dez	0,01	0,98	1,54	2,02	2,48	2,96	3,43	4,55	5,57	6,40	7,27	8,28	9,18	11,20	15,30	18,50	23,20	29,40	35,50	42,10

A curva de permanência para a estação 56993551 – Córrego da Piaba com uma série mais extensa, observa-se o seguinte comportamento:

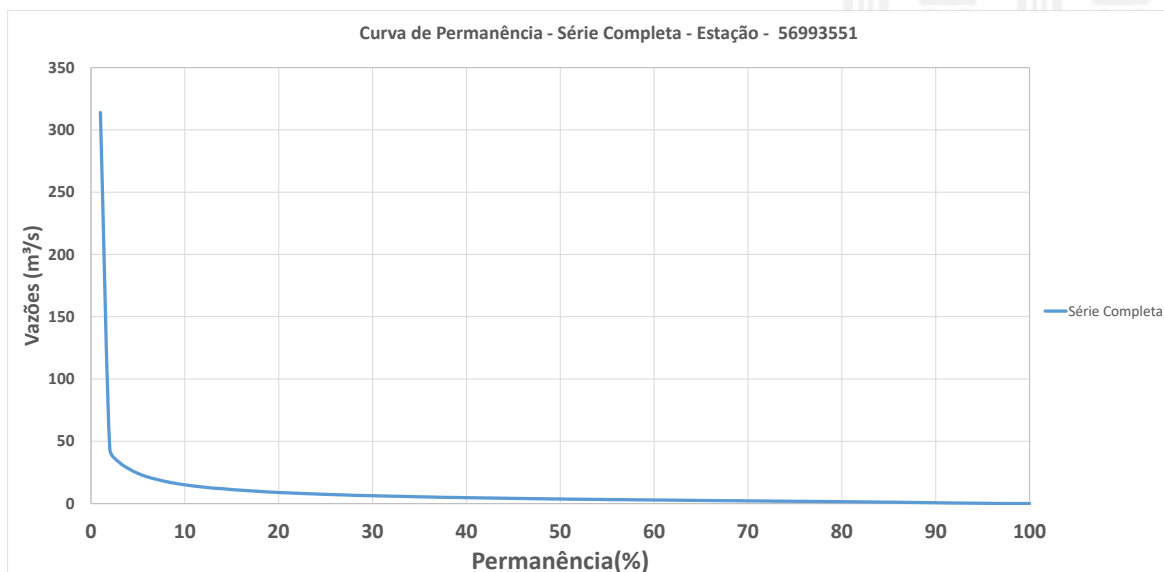


Gráfico 3.1.2: Curva de Permanência Diária

Quadro 3.1.3: Quadro de Permanência das Vazões Diárias

CURVA DE PERMANÊNCIA DAS VAZÕES DIÁRIAS - RESUMO - 56993551																				
Série	100%	95%	90%	85%	80%	75%	70%	65%	60%	55%	50%	45%	40%	35%	30%	25%	20%	15%	10%	5%
Completa	0,00	0,22	0,66	1,10	1,48	1,79	2,13	2,47	2,84	3,21	3,65	4,12	4,69	5,42	6,29	7,37	8,86	11,20	15,00	24,20
Jan	0,00	0,30	0,70	1,57	2,33	3,39	4,39	5,59	6,88	8,08	9,14	10,50	11,90	13,40	15,20	18,10	21,30	25,80	33,50	58,10
Fev	0,00	0,83	1,42	1,97	2,51	3,13	3,77	4,42	5,07	5,80	6,35	6,89	7,67	8,60	9,87	11,10	13,10	16,90	21,80	35,00
Mar	0,00	0,65	1,10	1,92	2,68	3,28	3,76	4,31	4,74	5,30	5,91	6,48	7,25	8,24	9,31	10,80	12,70	15,20	19,20	27,80
Abr	0,00	0,58	1,24	1,78	2,47	3,02	3,44	3,72	4,20	4,64	5,07	5,61	6,21	7,02	7,68	8,60	9,67	10,90	12,40	15,40
Mai	0,00	0,35	1,10	1,70	2,04	2,40	2,65	2,84	3,09	3,35	3,65	4,01	4,31	4,63	4,93	5,59	6,08	6,95	8,30	9,87
Jun	0,00	0,14	0,41	1,26	1,49	1,71	1,91	2,19	2,44	2,68	2,95	3,17	3,36	3,53	3,79	4,16	4,72	5,51	6,68	8,01
Jul	0,00	0,05	0,45	0,75	1,04	1,31	1,50	1,78	1,91	2,18	2,32	2,47	2,71	3,00	3,18	3,47	4,11	4,69	5,54	6,42
Ago	0,00	0,03	0,30	0,41	0,68	0,92	1,10	1,25	1,42	1,64	1,77	1,98	2,16	2,40	2,68	2,92	3,30	3,87	4,85	5,72
Set	0,00	0,07	0,20	0,31	0,48	0,71	0,92	1,17	1,42	1,65	1,83	2,03	2,22	2,45	2,71	2,94	3,17	3,57	4,42	4,96
Out	0,00	0,05	0,42	0,68	0,88	1,20	1,48	1,65	1,84	2,02	2,25	2,58	2,95	3,44	3,81	4,21	4,80	5,59	6,98	11,70
Nov	0,00	0,17	1,03	1,65	1,96	2,38	2,90	3,26	3,74	4,22	4,69	5,54	6,45	7,57	8,60	10,20	12,10	15,60	21,00	35,40
Dez	0,09	1,28	2,28	2,89	3,70	4,37	5,03	5,95	6,81	7,51	8,60	9,87	11,50	13,00	14,70	17,30	21,00	25,20	32,50	48,50

Quando se observar o comportamento de 50 % das vazões da série completa para as duas estações, mesmo com séries com intervalos de observações diferentes e áreas similares a vazão em ambos as estações fica em torno de 3,80 m<sup>3</sup>/s.

Quando se observa a média medida ao longo dos períodos para as duas estações observadas tem-se o seguinte comportamento:

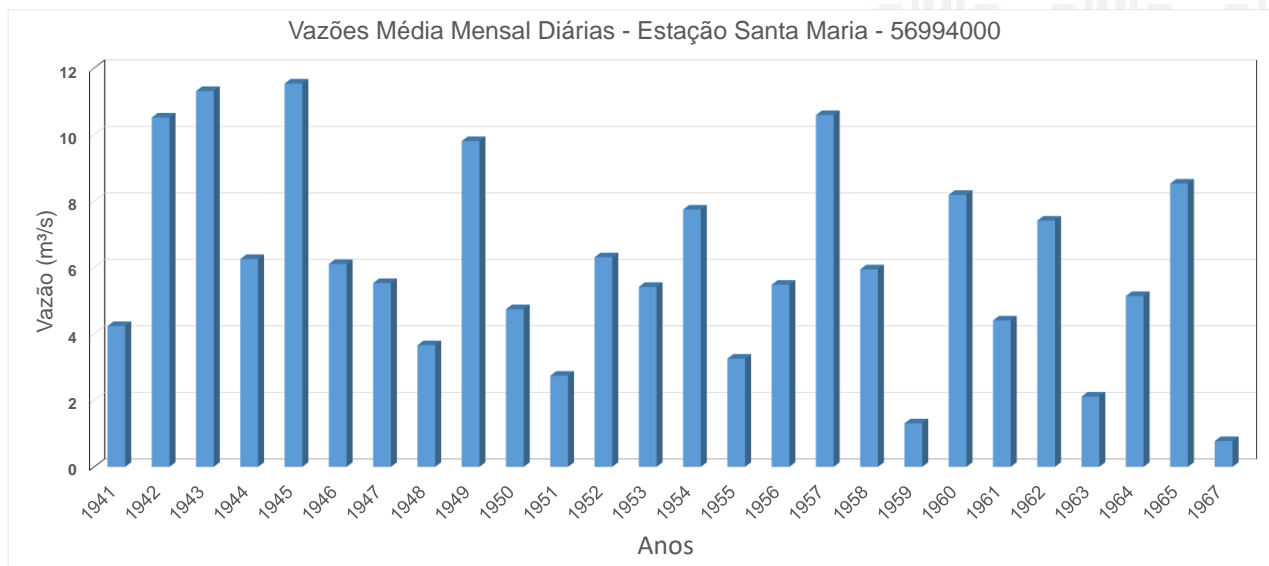


Gráfico 3.1.3: Vazão Média Mensal - 56994000

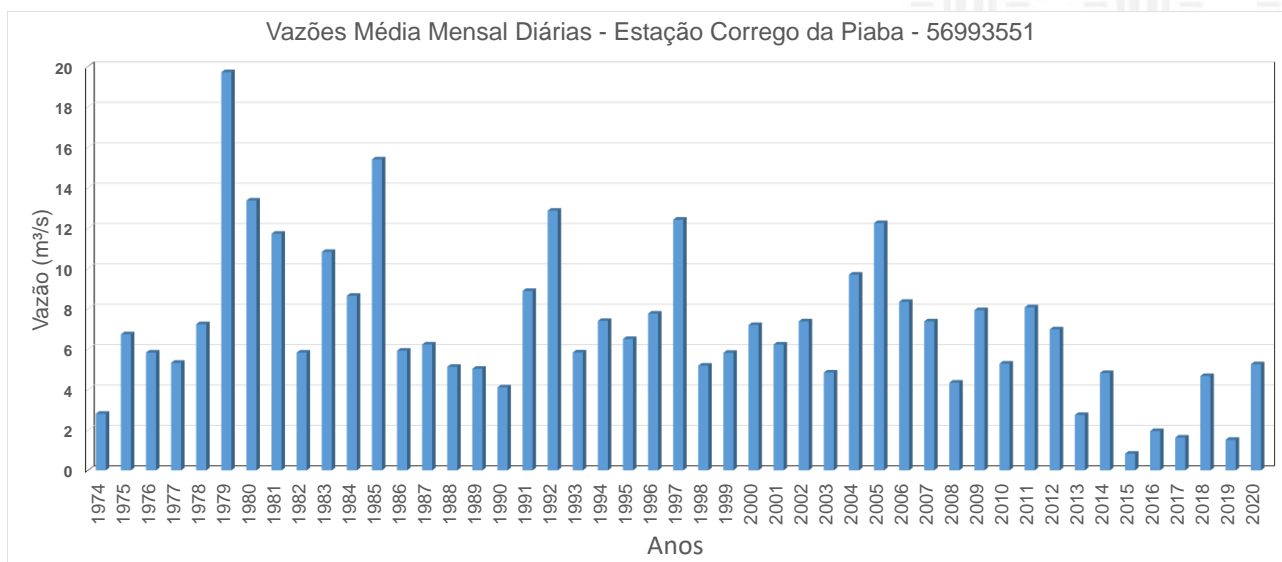


Gráfico 3.1.4: Vazão Média Mensal - 56993551

A vazão média mensal para posto Santa Maria (56994000) e de  $6,39 \text{ m}^3/\text{s}$  ao longo do ano pelo período observado.

A vazão média mensal para posto Córrego da Piaba (56993551) e de  $8,01 \text{ m}^3/\text{s}$  ao longo do ano pelo período observado.

Ressalvando que entre a razão da área do posto de Santa Maria e Córrego da Piaba é 0,97 e a vazão média poderia ser considerada de  $7,76 \text{ m}^3/\text{s}$ .



### ➤ Vazões Mínimas Observadas

Em relação a vazões mínima está sendo apresentado os valores para a vazão Q7,10, que é a **vazão** mínima de 7 dias de duração e 10 anos de tempo de recorrência e a vazão mínima medida nos postos ao longo das séries históricas.

Para o posto Santa Maria (56994000), o gráfico para esse parâmetro apresenta o seguinte aspecto.

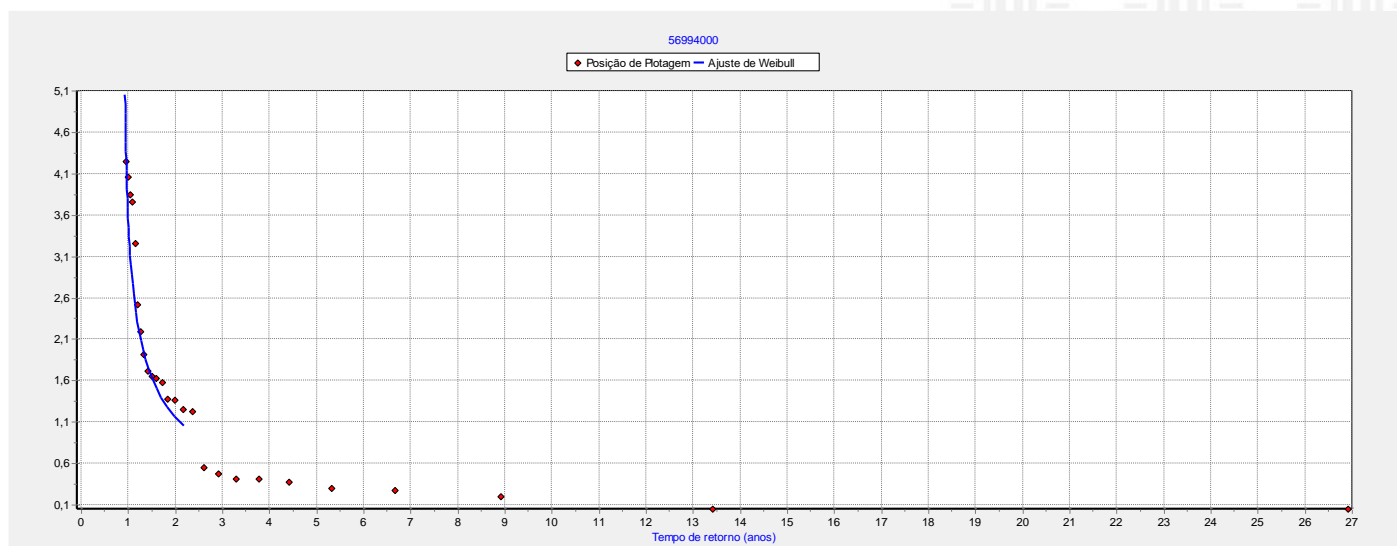


Gráfico 3.1.4: Vazão Mínima Mensal Q7,10 - 56994000

Quadro 3.1.4: Vazões Mínimas - 56994000

Vazões mínimas:			
Ano	Qt (m3/s)	Ano	Qt (m3/s)
1941	3,8	1954	0,427
1942	3,2	1955	0,326
1943	4,01	1956	1,17
1944	2,14	1957	1,53
1945	3,71	1958	1,87
1946	2,47	1959	0,156
1947	1,58	1960	0,36
1948	1,6	1961	0,36
1949	4,2	1962	0,5
1950	1,67	1963	0,226
1951	0,248	1964	0,005
1952	1,33	1965	1,21
1953	0,002	1967	1,32

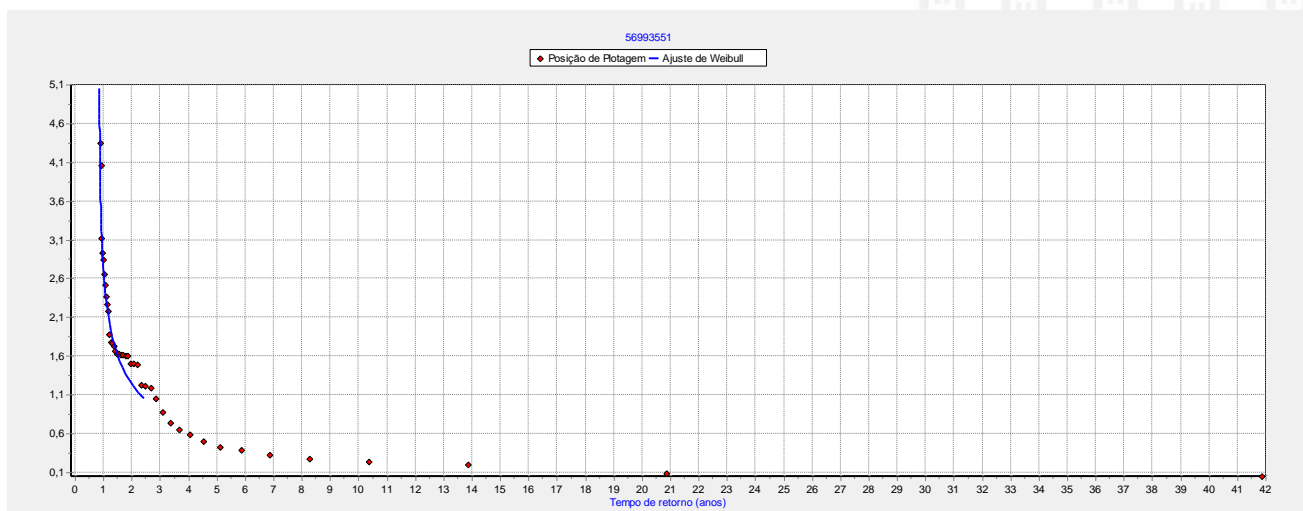


Gráfico 3.1.5: Vazão Mínima Mensal – Q7,10 - 56993551

Quadro 3.1.5: Vazões Mínimas - 56993551

Vazões mínimas:					
Ano	Qt (m3/s)	Ano	Qt (m3/s)	Ano	Qt (m3/s)
1974	1,73	1987	1,45	2000	0,54
1975	1,71	1988	1,55	2001	0,69
1976	1,01	1989	1,61	2002	1,58
1977	1,67	1990	1,44	2003	0,38
1978	2,21	1991	1,83	2004	1,17
1979	4,01	1992	2,80	2005	1,57
1980	3,07	1993	1,56	2006	1,58
1981	2,89	1994	1,57	2007	0,60
1982	2,13	1995	0,00	2008	0,19
1983	2,32	1996	1,18	2009	0,45
1984	2,60	1997	2,47	2010	0,22
1985	4,30	1998	1,14	2011	0,34
1986	1,46	1999	0,83	2012	0,27

- Para a estação Santa Maria (56994000) **Q7,10 = 0,233 m³/s**
- Para a estação Córrego da Piaba – (56993551) **Q7,10 = 0,352 m³/s**

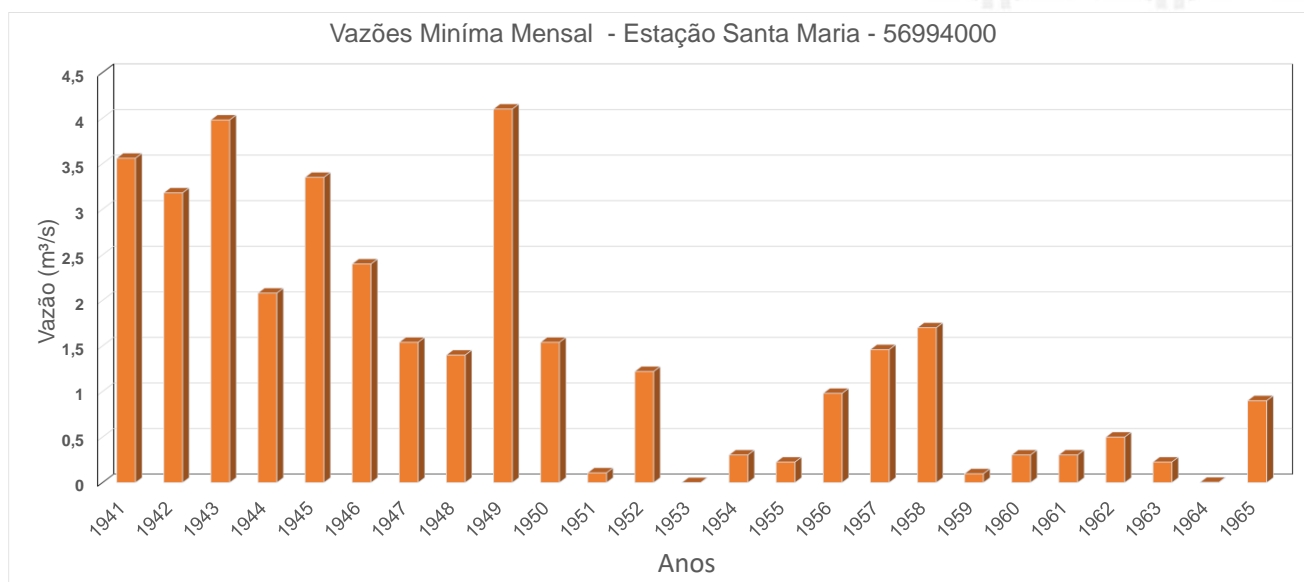


Gráfico 3.1.6: Vazão Mínima Mensal - 56994000

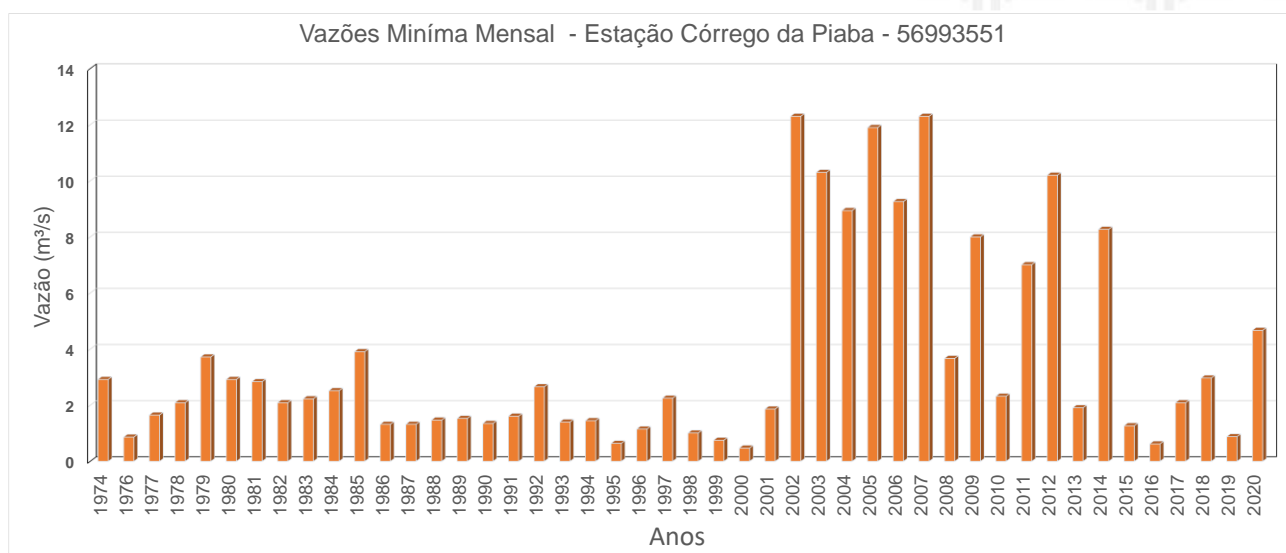


Gráfico 3.1.7: Vazão Mínima Mensal - 56993551

As vazões mínimas observadas nas series foram as seguintes:

- Para a estação Santa Maria (56994000) = **1,20 m³/s**
- Para a estação Córrego da Piaba - (56993551) = **1,40m³/s**



### ➤ Vazões Máximas Observadas

As vazões máximas observadas nas estações de referência do estudo apresentaram os seguintes intervalos de valores.

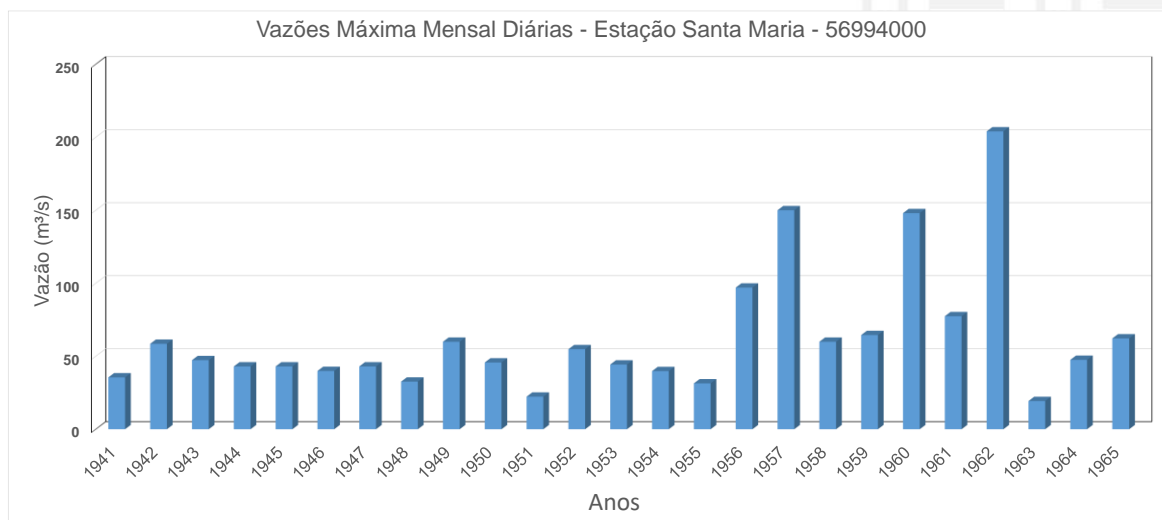


Gráfico 3.1.8: Vazão Máxima Diária - 56994000

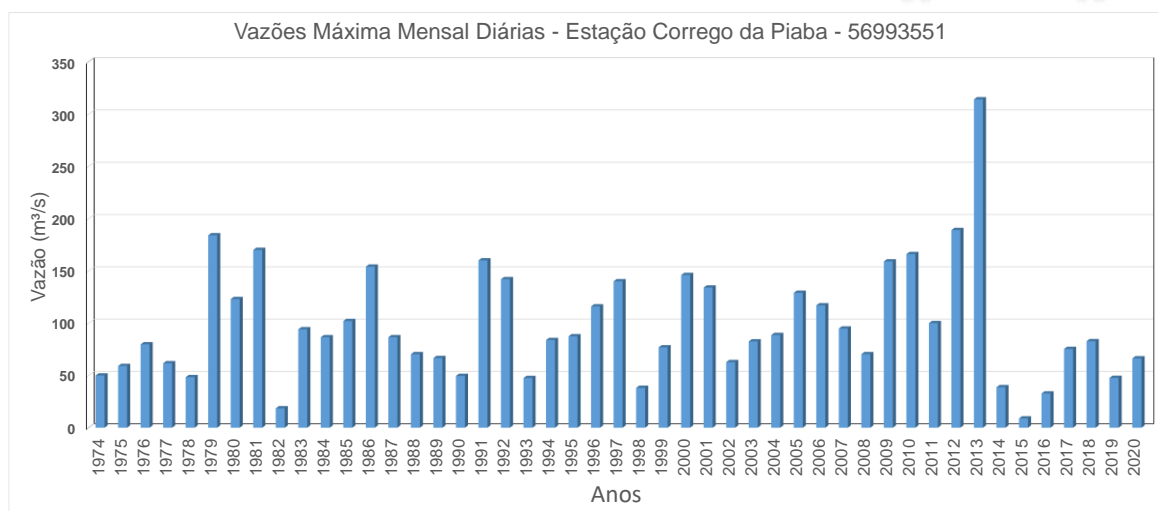


Gráfico 3.1.9: Vazão Máxima Diária - 56993551

As vazões máximas observadas nas series foram as seguintes:

- Para a estação Santa Maria (56994000) = **204 m³/s**
- Para a estação Córrego da Piaba – (56993551) = **304m³/s**

E importante ressaltar que a máxima observada para a estação do Córrego da Piaba foi em 2013, ano que houve chuvas intensas no Estado do Espírito Santo, e esse período a estação Santa Maria não estava ativada para registro de dados.

## 4. CÁLCULO DAS DESCARGAS DE PROJETO

O estudo das bacias de contribuição do barramento já foi apresentado no capítulo anterior. O cálculo da vazão hidrológica máxima para um período de retorno qualquer, segundo o Manual de Estudo de Hidrológico do DNIT por exemplo, com indicativo a ser utilizado o método Racional para Bacias de até 4 Km<sup>2</sup>, o Racional Modificado para bacias > 4,0 Km<sup>2</sup> e <10,0 Km<sup>2</sup> e para Bacias maiores de 10,00 Km<sup>2</sup> o método do Hidrograma Unitário Triangular (HUT).

Quadro 4.1.0: Dados da Bacia do Barramento

Dados da Bacia da Barragem São Dalmacio		
Área (km <sup>2</sup> )	Comprimento Curso Principal (Km)	Desnível (m)
463,80	50,08	820,00

### 4.1 PERÍODO DE RETORNO

Existentes diversas recomendações sobre períodos de retorno a serem utilizados, por exemplo:

Tabela 4.1.1: Tabela de Período de Retornos

Obra Hidráulica	Período de retorno (anos)
Pequenas barragens para abastecimento de água	50 a 100
Barragem de concreto	500
Extravasador de barragem de terra	1.000
Vertedor de grandes barragens	10.000

Fonte: Vilella & Mattos (1975) e DAEE (2006)

Quadro 4.1.1 – Tempo de Recorrência – Manual de Segurança de Barragem (ANA)

Altura, h (m)	Volume, V (hm <sup>3</sup> )	Tempo de recorrência (anos)
$h \geq 30$	$V \geq 50$	CMP
$15 \leq h < 30$	$03 \leq V < 50$	1 000
$h < 15$	$V < 03$	500

No presente estudo será utilizado **500 anos** como período de retorno para o cálculo da vazão máxima.

## 4.2 TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração seguindo as recomendações das instruções contidas em diversos estudos e por exemplo o Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem do DNIT, desta forma está sendo apresentado as principais fórmulas utilizadas no estudo: temos as seguintes equações;

- A fórmula de KIRPICH para determinação do  $T_c$  é a seguinte;

$$T_c = 0,95x \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

- $T_c$  Tempo escoamento superficial [h];
- $L$  Comprimento do curso d'água [km];
- $H$  Desnível máximo na bacia [m];

- A fórmula de KIRPICH Modificado para determinação do  $T_c$  é a seguinte;

$$T_c = 1,42x \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

Onde:

- $T_c$  -Tempo escoamento superficial [h];
- $L$  Comprimento do curso d'água [km];
- $H$  Desnível máximo na bacia [m];

- O método LAG para determinação do  $T_c$  é a seguinte;

$$T_c = 16,0Kn \left( \frac{L^{2,5}}{H^{0,5}} \right)^{0,33}$$

- $L$  Comprimento do curso d'água [km];
- $H$  Desnível máximo na bacia [m];
- $Kn$  = Média dos Coeficientes de Manning ao longo do curso D'água.

- O método PASINI para determinação do Tc é a seguinte;

$$T_c = \frac{0,107^3 \sqrt{A \cdot L}}{\sqrt{I}}$$

- L Comprimento do curso d'água [km];
- A Área da Bacia [Km];
- I Declividade em m/m.

O tempo de concentração para a Bacia em questão, para as fórmulas apresentadas foram os seguintes:

*Quadro 4.1.2 – Tempo de Concentração*

Tempo de Concentração						
Fórmula	TC (Horas)	L (Km)	H (m)	A (km²)	I (m/m)	Velocidade (km/h)
Kiprich	6,592	50,080	820,000	546,860	-	8,170
Kiprich Modificada	9,853	50,080	820,000	546,860	-	5,066
Pasini	20,398	50,080	820,000	546,860	0,025	1,949
Lag	4,078	50,080	820,000	546,860	-	5,259

### 4.3 CÁLCULO DAS VAZÕES MÁXIMAS

O cálculo da vazão máxima em função do período de retorno será realizado em função das estações fluviométrica por meio de métodos estatísticos. As estações utilizadas:

*Quadro 4.1.3 – Estações Fluviométricas Utilizadas*

Estação	Código	Rio	Município	Início da operação	Area (km²)
Santa Maria	56994000	Santa Maria	Colatina	Janeiro/1941 a agosto de 1967	872,00
Corrego da Piaba	5699351	Santa Joana	Colatina	Janeiro/1974	893,00
Pancas	56995500	Pancas	Colatina	Setembro/1975	920,00

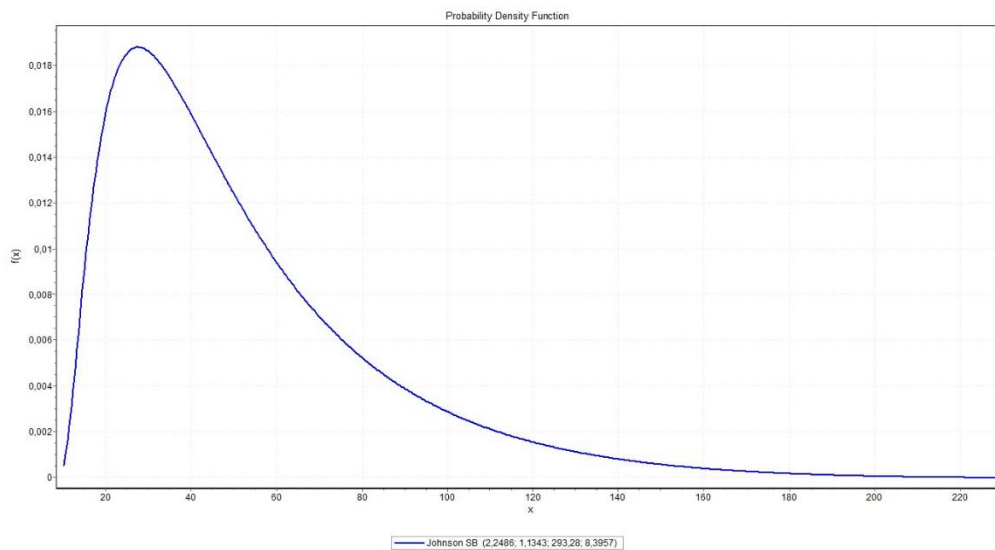


Em função da estação mais representativa para o rio em estudo ser a de Santa Maria, e a mesma ter sido desativada, além do fato que as outras estações terem partes das séries com falhas, utilizou o processo de transposição das séries em função da área da bacia em questão de cada posto utilizado.

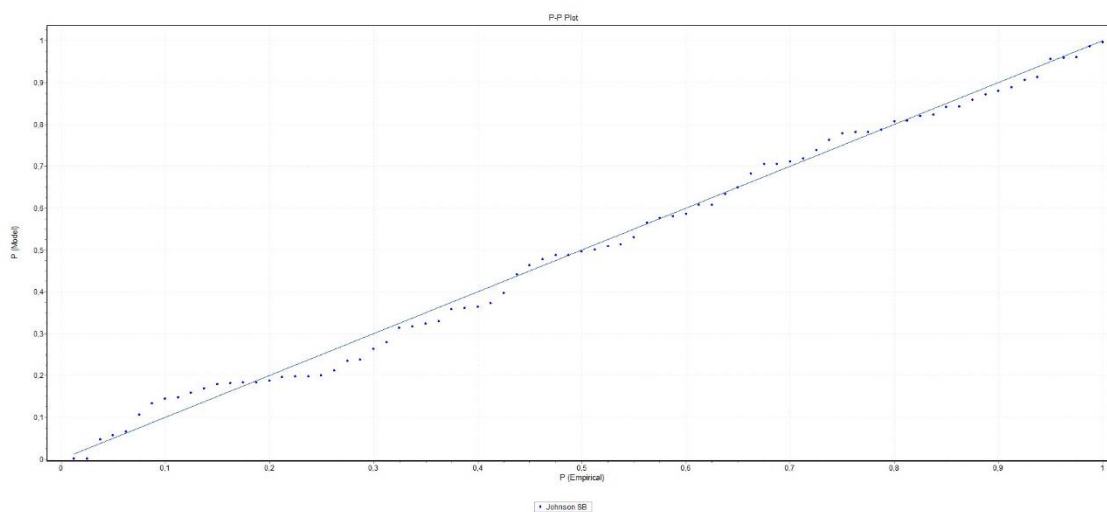
*Quadro 4.1.4 – Vazões Máximas Diárias*

VAZÃO MÁXIMA DIÁRIA OBSERVADA				
Posto	5699351 - Corrego da Piaba	56994000 - Santa Maria	56995500 - Pancas	Bacia
Ano	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)	Vazão (m³/s)
1941	-	35,50	-	21,27
1942	-	58,50	-	35,05
1943	-	47,30	-	28,34
1944	-	43,00	-	25,77
1945	-	42,60	-	25,53
1946	-	39,10	-	23,43
1947	-	41,40	-	24,81
1948	-	31,20	-	18,70
1949	-	59,90	-	35,89
1950	-	45,20	-	27,08
1951	-	18,70	-	11,21
1952	-	51,20	-	30,68
1953	-	43,90	-	26,31
1954	-	39,40	-	23,61
1955	-	30,20	-	18,10
1956	-	87,00	-	52,13
1957	-	119,00	-	71,31
1958	-	55,30	-	33,14
1959	-	49,80	-	29,84
1960	-	130,00	-	77,90
1961	-	69,10	-	41,41
1962	-	204,00	-	122,24
1963	-	19,30	-	11,57
1964	-	47,50	-	28,46
1965	-	62,20	28,34	37,27
1966	-	-	50,60	25,54
1967	-	-	48,05	24,25
1968	-	-	86,36	43,58
1969	-	-	64,53	32,57
1970	-	-	107,86	54,43
1971	-	-	96,26	48,58
1972	-	-	52,01	26,25
1973	-	-	50,52	25,50
1974	49,87	-	45,67	26,49
1975	58,97	-	122,03	61,59
1976	79,68	-	76,88	42,33
1977	61,59	-	53,83	32,72
1978	48,31	-	66,22	33,42
1979	183,82	-	112,51	97,66
1980	122,97	-	109,85	65,33
1981	170,43	-	91,26	90,54
1982	76,16	-	98,16	49,54
1983	94,09	-	183,39	92,55
1984	86,46	-	103,29	52,13
1985	102,08	-	243,80	123,04
1986	153,91	-	96,89	81,77
1987	86,46	-	91,26	46,06
1988	70,32	-	110,51	55,77
1989	66,57	-	19,27	35,37
1990	49,48	-	44,72	26,29
1991	159,81	-	93,12	84,90
1992	142,48	-	127,60	75,70
1993	47,53	-	140,46	70,89
1994	83,82	-	59,72	44,53
1995	87,44	-	98,79	49,86
1996	116,23	-	95,00	61,75
1997	140,12	-	161,39	81,45
1998	38,07	-	45,19	22,81
1999	76,78	-	88,80	44,82
2000	145,93	-	130,41	77,53
2001	134,44	-	124,80	71,42
2002	62,67	-	142,65	71,99
2003	82,55	-	124,80	62,98
2004	88,55	-	300,73	151,77
2005	128,89	-	79,80	68,48
2006	116,88	-	101,35	62,10
2007	94,79	-	78,63	50,36
2008	70,25	-	117,23	59,16
2009	159,49	-	237,56	119,89
2010	165,73	-	113,85	88,05
2011	100,07	-	149,29	75,34
2012	188,62	-	113,18	100,21
2013	313,86	-	348,63	175,95
2014	38,65	-	85,15	42,97
2015	38,7	-	85,15	42,97
2016	16,4	-	-	8,71
2017	75,3	-	-	40,00
2018	48,6	-	-	25,82
2019	47,3	-	-	25,13
2020	66,3	-	-	35,22

A distribuição de probabilidades de ocorrências de cheias foi obtida por meio de software de tratamento estatístico, que contempla cerca de 65 funções densidades de probabilidades. A função de densidade mais aderente à série histórica da Estação Santa Maria é Jonhson SB de acordo com os testes de Kolmogorov, Chisquare e Anderson Darling. Abaixo a distribuição nas formas de gráfico encontrados.



*Gráfico 4.1.1 – Histograma da Probabilidade das Vazões*



*Gráfico 4.1.2: Aderência*

As vazões máximas obtidas em função do período de retorno para a série ajustada resultaram nos seguintes valores:

Vazões Máximas	
Período de Retorno (Anos)	Vazão
10	96,05
25	129,96
50	142,47
100	160,06
500	194,72

#### 4.4 HUT – HIDROGRAMA UNITÁRIO TRIANGULAR

O hidrograma foi calculado de forma a obter a variação da vazão ao longo de um tempo em função de uma chuva, o hidrograma possui restrições em sua precisão, visto a vasta gama de variáveis que influem na medida e estimativa da vazão de uma bacia.

Hidrograma Unitário é o hidrograma resultante de um escoamento superficial unitário (1mm, 1cm, 1polegada) gerado por uma chuva uniformemente distribuída sobre a bacia hidrográfica, com intensidade constante e de certa duração.

Para uma dada duração de chuva, o hidrograma constitui uma característica própria da bacia, pois reflete as condições de deflúvio para o desenvolvimento da onda de cheia.

No efetivo desenvolvimento deste estudo adotou-se o Método do Soil Conservation Service (SCS) – Hidrograma Unitário Triangular.

O Soil Conservation Service propôs a elaboração de um hidrograma unitário sintético a partir de um adimensional, requerendo tão somente a determinação da vazão de pico e do tempo em que ela ocorre.

O tempo de ponta se define em função do tempo de concentração da bacia ( $T_c$ ) e da duração unitária da chuva ( $DU$ ):

*Cálculo do tempo de pico ( $t_p$ )*

$$t_p = 0,5t_r + 0,6t_c \text{ (horas)}$$

Onde:

- $t_p$  tempo de pico (h);
- $t_r$  tempo de duração da chuva (h);
- $t_c$  tempo de concentração (h).
- Recomenda-se a adoção de  $t_r$  compreendido entre 1/4 e 1/5 de  $t_c$ .

Cálculo do tempo de base ( $t_b$ )

$$t_b = 2,67 \times t_p \text{ (horas)}$$

Cálculo da vazão de pico ( $q_p$ )

$$q_p = \frac{2 \times P \times A}{t_b} (m^3 / s)$$

Onde:

- P precipitação efetiva (= 1mm)
- A área da bacia ( $Km^2$ )

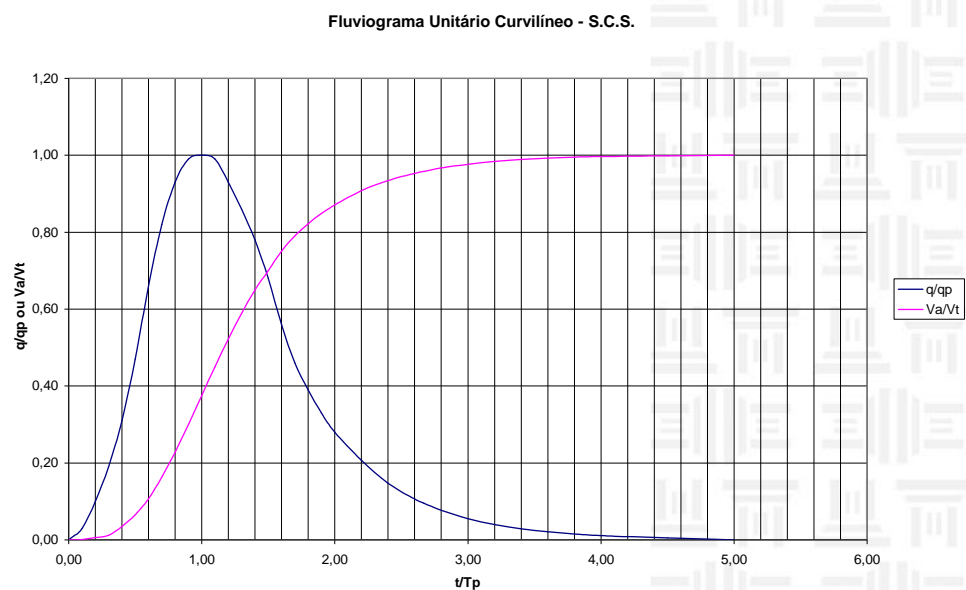


Gráfico 4.1.2 Fluviograma Unitário Curvilíneo

## Método de Cálculo

### Chuva

A chuva para cálculo de enchente é definida a partir das precipitações previamente estabelecidas no projeto, uma tempestade com tempo de recorrência semelhante ao da enchente de projeto pode ser estabelecida a partir de uma distribuição aproximadamente simétrica das intensidades de precipitação.

Dessa maneira, calculam-se as precipitações de interesse, em durações crescentes em progressão aritmética, desde a duração inicial DU até a duração máxima (TM)



considerada adequada para definir satisfatoriamente o ramo descendente do fluviograma resultante.

### **Precipitação Efetiva**

A Precipitação Efetiva (PE) é calculada a partir das precipitações acumuladas (P) através da expressão Mockus:

$$PE = \frac{(P - 0,2S)}{p + 0,8S}$$

Onde:

- PE :Excesso de chuva (mm)
- P: Precipitação (mm)
- S: Índice que traduz a capacidade de infiltração máxima do solo.

$$S = 254 \times \left(\frac{100}{N-1}\right)$$

Onde:

- N Número de deflúvio que define o complexo hidrológico solo vegetação

O número de deflúvio pode ser encontrado utilizando as relações explicitadas na tabela apresentada a seguir.

*Tabela 4.1-2: Complexo Hidrológico Solo Vegetação*

Solo - Cobertura Vegetal					
Para Condição de Umidade Antecedente II (Média) E $I_a = 0,2s$					
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico do Solo			
		A	B	C	D
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação					
	Pobre	77	86	91	94
Terreno Cultivado	Pobre	72	81	88	91
	Boa	51	67	76	80
Pasto	Pobre	68	79	86	89
	Boa	39	61	74	80
Mata ou Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Boa	25	55	70	77
Área Urbana	Pobre	74	80	87	90
	Boa	70	76	83	86

Observações:

**GRUPO A** - Potencialidade mínima para formação de deflúvio superficial. Inclui areias em camadas espessas com muito pouco silte e argila.

**GRUPO B** - Principalmente solos arenosos menos espessos que no grupo A e loess menos profundo ou menos agregado que no grupo A, porém apresentam infiltração acima da média, após intenso umedecimento prévio.

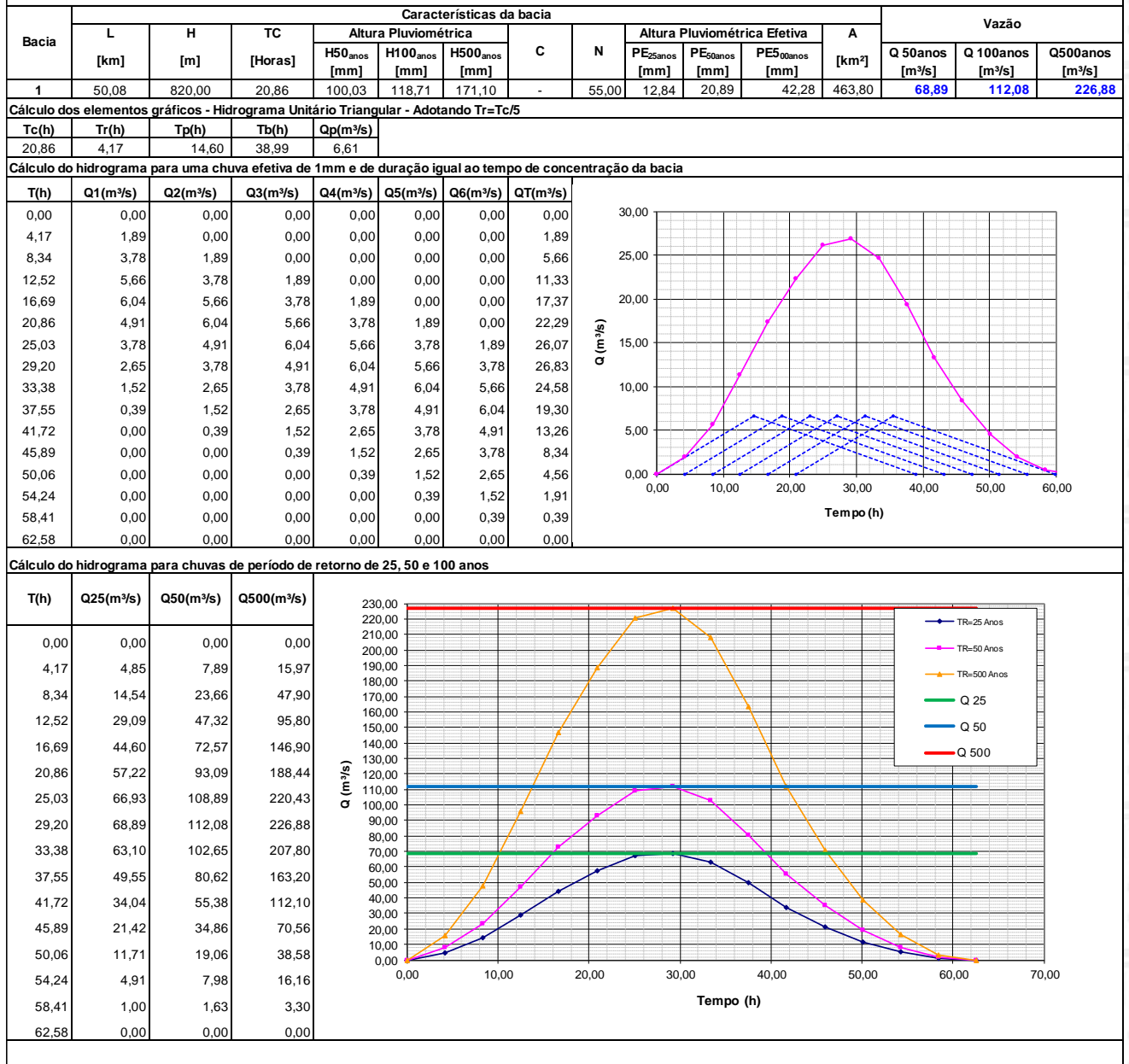
**GRUPO C** - Compreende solos pouco profundos e solos contendo bastante argila e colóides, no entanto, menos que no grupo D. O grupo apresenta infiltração abaixo da média, após pré-saturação.

**GRUPO D** - Potencial máximo para formação do deflúvio superficial. O grupo inclui em sua maioria, argilas de alto valor de expansão, incluindo também alguns solos pouco profundos, com sub-horizontes quase impermeáveis, próximos da superfície. Qualquer tipo de solo em terreno plano, com fraca rede de drenagem, acaba enquadrando-se nesse grupo, após um período prolongado de chuvas que eleva o nível do lençol freático para a superfície.

A seguir é apresentado HUT da Bacia.

# HUT

LOCAL: Santa Maria do Rio Doce



## 5. MODELAGEM HIDRÁULICA

A localização da Barragem de São Dalmácio, São Roque do Canaã-ES, está localizada a aproximadamente 2,50 Km do centro da cidade, e será implantada a jusante da posição de uma barragem de captação de água já existente, local esse já indicado e escolhido pela prefeitura.



*Figura 5.1-1: Localização da Barragem*

Em relação a área de implantação do barramento e seu futuro reservatório e possível verificar, conforme mapeamento de áreas susceptíveis do CPRM, que a área em questão possui risco alto e médio a inundação, conforme mapa abaixo apresentado.





*Figura 5.1-2: Área Susceptibilidade a Inundação – Fonte: CPRM*

Em diversos períodos ao longo dos últimos 10 (dez) anos é possível observar que o município já sofre com as cheias do Rio Santa Maria. Abaixo alguns registros retirados da internet:



*Figura 5.1-3: Inundação – Centro de São Roque do Canaã – Dezembro 2013 – Fonte: Folha Vitória*



*Figura 5.1-4: Inundação – São Roque do Canaã – Janeiro 2018 – Fonte: novanoticia.com.br*

O município também registra eventos extremos, como por exemplo secas que assolaram a região ao longo dos últimos 10 anos, conforme registros a seguir:



*Figura 5.1-4: Seca – São Roque do Canaã – Agosto 2019 – Fonte: g1.globo.com*



*Figura 5.1-5: Seca – São Roque do Canaã – 2016 – Fonte: g1.globo.com*

Diante de cenários adversos e extremos, encontrar um ponto de equilíbrio para implantar uma barragem para reservação de água, tem-se os seguintes pontos a serem abordados:

- 1) Localização Geográfica da Barragem;
- 2) Cota de Inundação  $C=105,00$  m proposta pela Prefeitura em Função de Desapropriação ocasionada pelo lago a ser construído e questões ambientais;
- 3) Vazão reduzida no período de seca e consequentemente a manutenção de uma vazão mínima de sobrevivência;
- 4) Cheias históricas já registradas no local de implantação.

Em função dos pontos abordados foi simulado dois Cenários distintos, de forma a observar a dinâmica da água nesses dois cenários, sendo:

- Cenário 1 – Situação Atual do Local de Implantação com a Barragem Existente;
- Cenário 2 – Situação com a Implantação da Barragem.

## 5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O estudo foi desenvolvido partindo dos seguintes pontos:

- Definição da Área de Influência do Estudo;
- Levantamento de Bases Cartográficas Existentes;
- Levantamento Topobatimétrico;
- Modelagem Matemática dos Cenários Propostos.

### 5.1.1 - DEFINIÇÃO DA ÁREA DE INFLUÊNCIA DO ESTUDO

A área de influência foi definida em função da escolha do local de implantação da barragem pela prefeitura e conforme disponibilidade de áreas a serem desapropriadas pela implantação do lago.

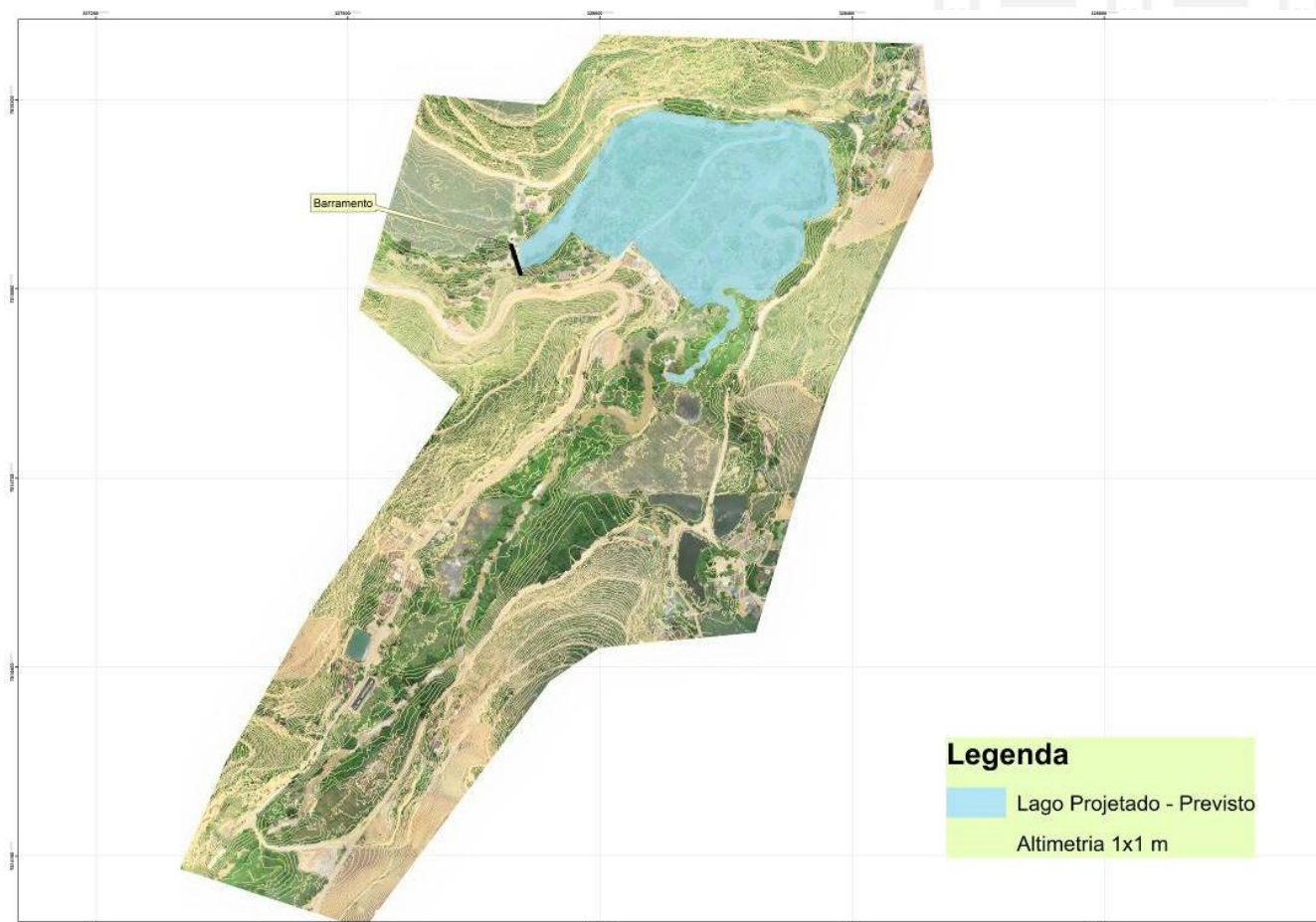


*Figura 5.1-6: Local de Abrangência do Estudo*



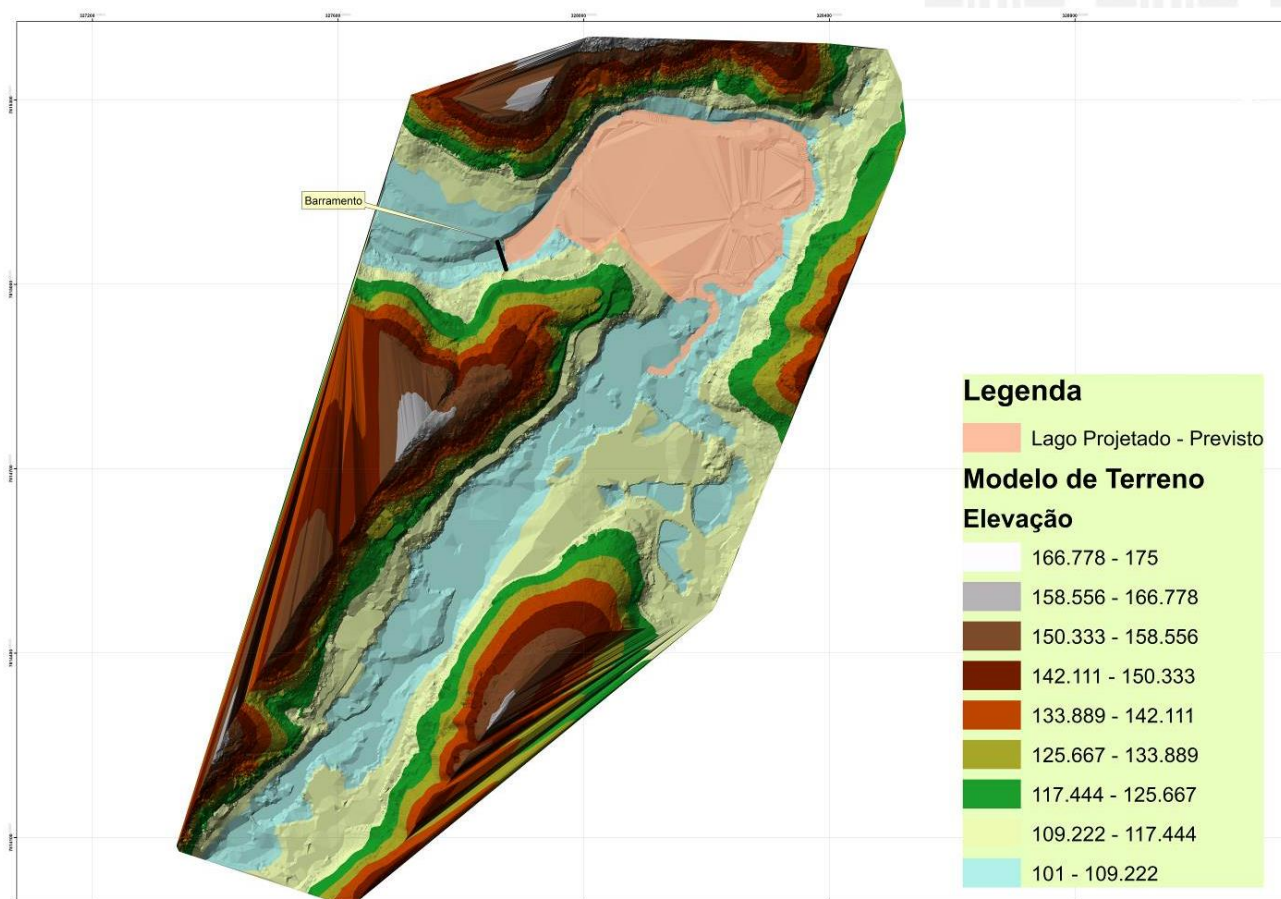
### 5.1.2 - LEVANTAMENTO DE BASES CARTOGRÁFICAS EXISTENTES

Foram utilizados levantamento das bases planialtimétricas do geobases, levantamento topográfico realizado para o projeto, além de complementos de levantamento na fase do levantamento topobatimétrico e aerolevantamentos com drone. A figura a seguir ilustra as bases utilizadas no estudo.



*Figura 5.1-7: Altimetria do Levantamento*





*Figura 5.1-8: Modelo de Terreno Utilizado*

### 5.1.3 - LEVANTAMENTO TOPOBATIMÉTRICO

Foi realizado um levantamento batimétrico com a utilização de barco e GPS geodésico dom RTK ao longo da calha do rio na região de interesse, de modo a subsidiar o modelo com a seção média geométrica do rio.



*Figura 5.1-8: Levantamento Topobatimétrico*

## 5.2 MODELAGEM MATEMÁTICA

A modelagem hidrodinâmica foi realizada por meio do Software HEC-RAS (Hydrologic Engineers Corps - River Analysis System). O modelo se baseia na resolução das equações de Saint Venant uni ou bidimensionais, considerando regimes permanentes ou não permanentes.

As simulações podem ser aplicadas a:

- Estudos para determinação da área de inundação dos rios e de proteção contra enchentes;
- Efeitos dos diversos obstáculos hidráulicos como pontes, bueiros, vertedores de barragens, diques e outras estruturas hidráulicas;
- Análise das alterações nos perfis da superfície d'água devido às modificações da geometria do canal ;
- Múltiplos perfis de superfície d'água (modelagem de cenários para diferentes condições hidráulicas e hidrológicas), erosão em pontes e operação de barragens em sequência.

A modelagem por meio do software utiliza um número de parâmetros de entrada para a análise hidráulica da geometria do canal e do fluxo de água.

Esses parâmetros são utilizados para estabelecer uma série de seções transversais ao longo do escoamento.

O programa subdivide as seções transversais levando em consideração as diferenças nos parâmetros hidráulicos. Por exemplo, o perímetro molhado na planície é muito mais elevado que no canal principal. Assim, as forças de atrito entre a água e leito do canal, tem uma maior influência na resistência de fluxo na planície, levando a valores mais altos do coeficiente de Manning. Como resultado, a velocidade do fluxo e transporte é substancialmente mais elevada no canal principal do que na planície.

Em cada seção transversal, são utilizados vários parâmetros de para descrever a forma, elevação e posição relativa ao longo do rio:

- Condição de contorno de montante (vazão);
- Condição de contorno de jusante;
- Seções transversais ao longo do curso d'água (seções topobatimétricas);
- Coeficiente de rugosidade das seções;
- Número de seções no rio;
- Descrição geométrica de todas as estruturas hidráulicas, tais como pontes, canais e barramentos.

### 5.2.1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

Conforme apresentado anteriormente os dados que serão utilizados na modelagem são:

- Levantamento Cartográficos e Topográficos Existentes
- Levantamento Topobatimétricos;
- Estudo das Vazões para os tempos de retornos propostos;
- Coeficiente de Rugosidade;
- Inserção dos Dados Geométricos das Seções e Estruturas.
- Definição das condições de contorno do modelo

Os detalhes sobre as bases cartográficas, levantamentos topográficos e topobatimétrico, assim como as vazões foram apresentados nos capítulos anteriores.

É importante ressaltar, que os dados levantados são discretizados no modelo simulado.

### 5.2.2 – COEFICIENTES DE RUGOSIDADE

Para o desenvolvimento do modelo são utilizados coeficientes de perda de energia, como coeficiente de Manning para avaliação das perdas por atrito e coeficientes de contração e expansão. Foram adotados coeficientes da literatura de acordo com a cobertura de solo da área considerada.

Tipos de Planície de Inundação		n		
		Mínimo	Médio	Máximo
Pastagem	Gramma Baixa	0,025	0,030	0,035
	Gramma alta	0,030	0,035	0,050
Áreas cultivas	Nenhum cultivo	0,020	0,030	0,040
	Colheita desenvolvida	0,030	0,040	0,050
Mato	Esparso, com muitas plantas rasteiras	0,035	0,050	0,070
	Ralo	0,040	0,060	0,080
	Mediano a denso	0,070	0,100	0,160
Árvores	Grande porte (salgueiro, mangueira etc)	0,110	0,150	0,200
	Terreno limpo, com tocos e com algumas plantas rasteiras	0,030	0,040	0,050
	Terreno limpo, com tocos e com muitas plantas rasteiras	0,050	0,060	0,080
	Fileira densa, com nível de inundação abaixo dos galhos	0,080	0,100	0,120
	Fileira densa, com nível de inundação acima dos galhos	0,100	0,120	0,160

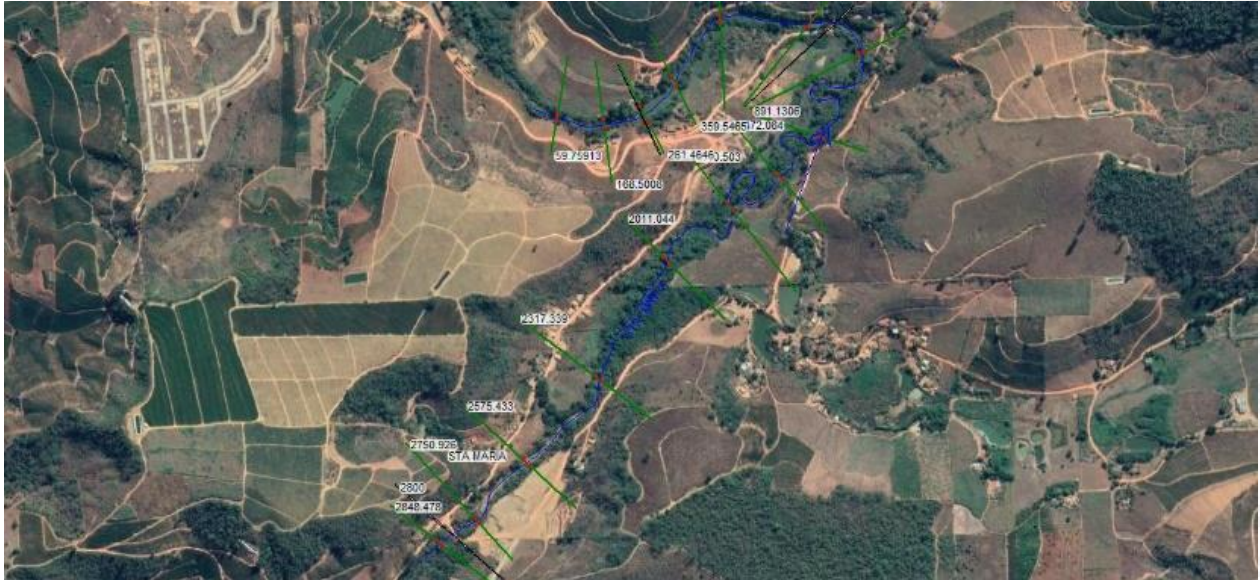
Figura 5.2.1.: Coeficientes de Rugosidade de Manning para Planícies de Inundação – Adaptado de CHOW, 1959



### 5.3 CENÁRIO 1 – SITUAÇÃO ATUAL

No cenário 1 foi considerado os seguintes dados:

- 15 Seções ao longo do rio com informações batimétricas e topográficas;
- 2 Pontes Existentes;
- 1 Barramento – Barragem Existente da Prefeitura



*Figura 5.3.1: Cenário 1 – Vista Geral*



*Figura 5.3.2: Ponte 02 - Planta*

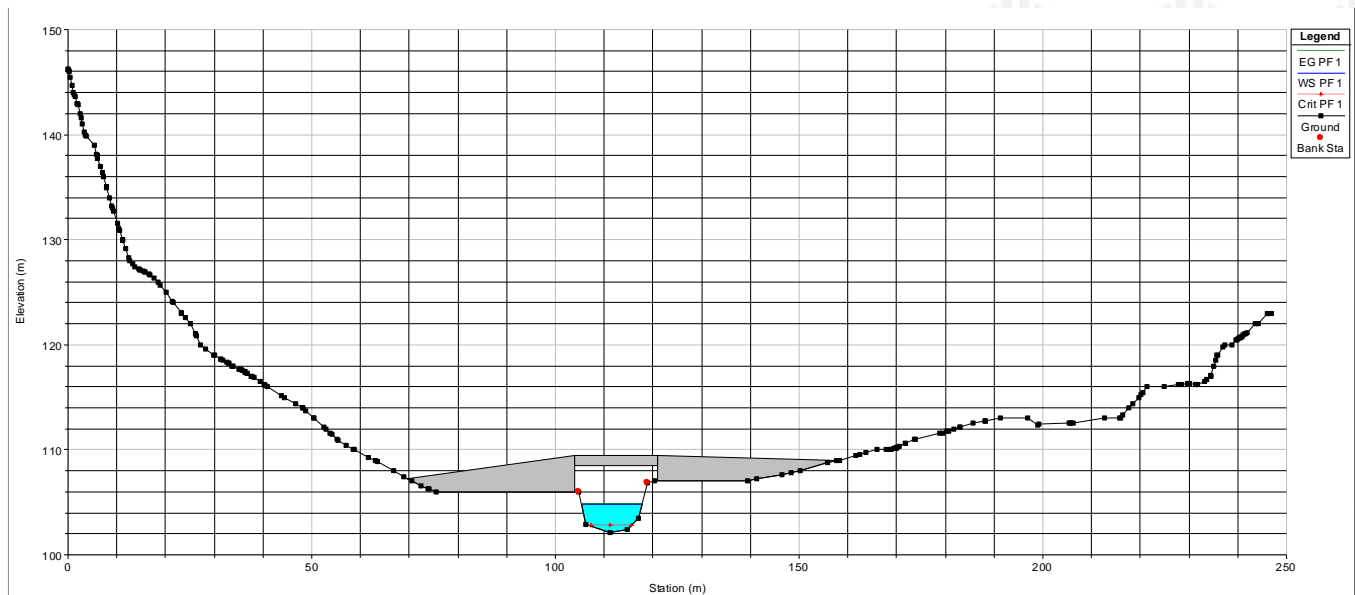


Figura 5.3.3: Ponte 02 – Seção



Figura 5.3.3: Ponte 01 - Planta

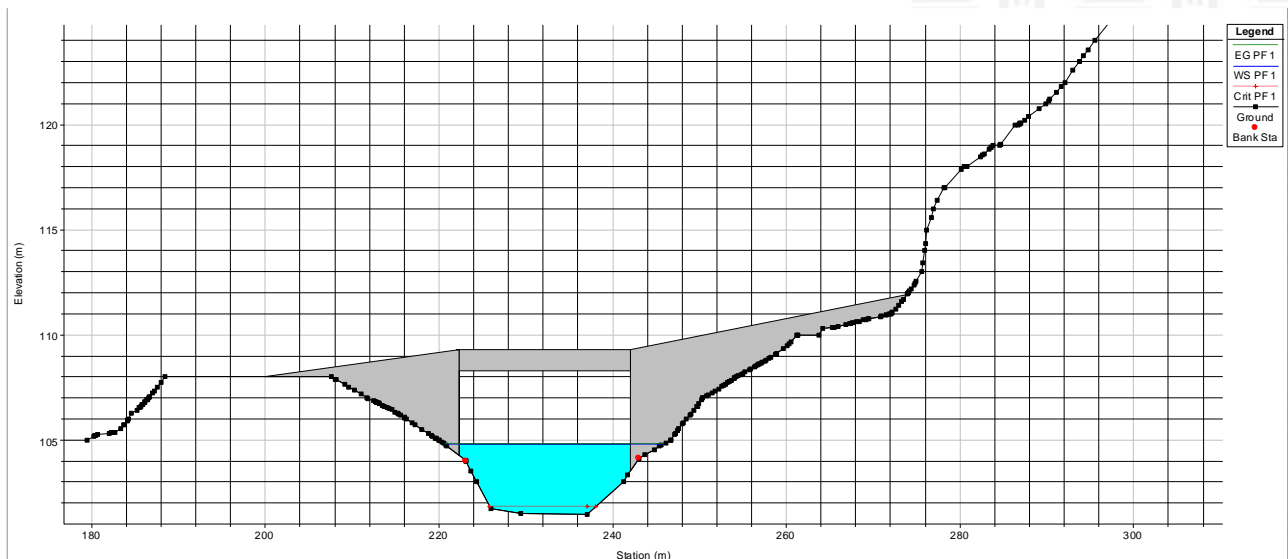
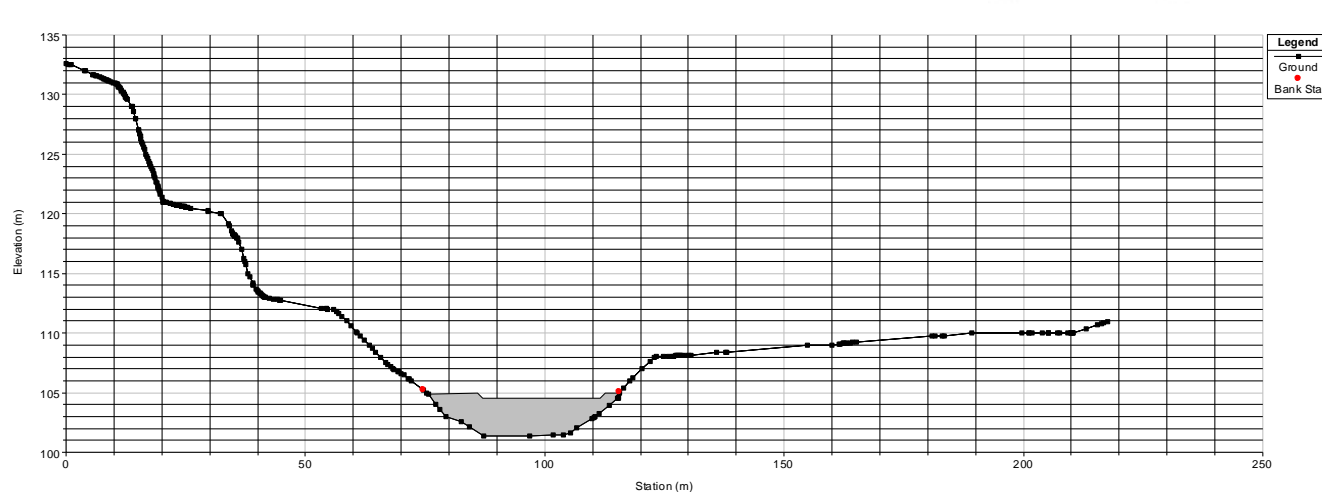


Figura 5.3.4: Ponte 01 - Seção





*Figura 5.3.5: Barragem Existente - Planta*



*Figura 5.3.6: Barragem Existente - Seção*

## 5.4 CENÁRIO 2 - SITUAÇÃO COM A IMPLANTAÇÃO DA BARRAGEM

No cenário 1 foi considerado os seguintes dados:

- 15 Seções ao longo do rio com informações batimétricas e topográficas;
- 2 Pontes Existentes;
- 1 Escavação na Área do Lago
- 1 Barramento – Barragem Projetada

As seções e as pontes são as mesmas do Cenário 1, sendo inserido a Barragem Projetada e a área destinada ao melhoramento do volume de armazenamento, conforme apresentado a seguir:

#### 5.4.1 ESCAVAÇÃO NA ÁREA DO LAGO

Em função de restrições devido a questões de desapropriação, por exemplo, está sendo proposto a realização de uma escavação em uma área que será ocupada pelo lago, de forma a permitir aumentar o volume de reservação de água. No relatório do projeto é apresentado os detalhes dessa escavação e a seguir é apresentada a área aproximada destinada a esse serviço:



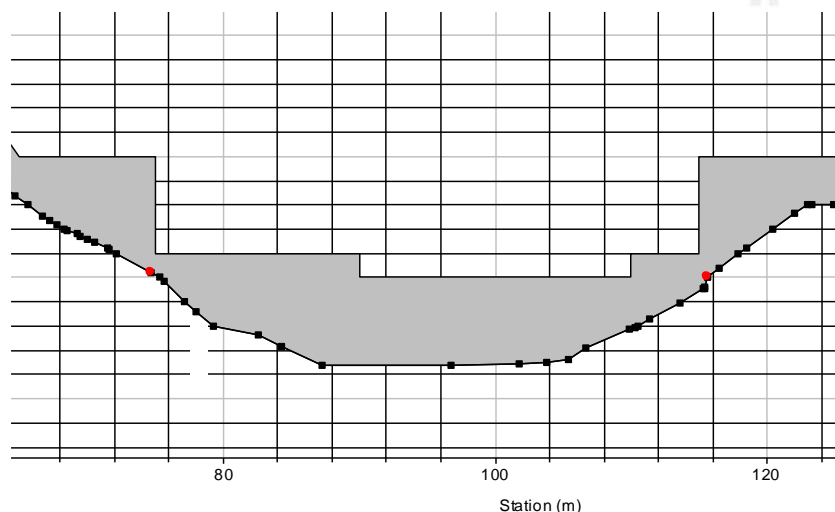
*Figura 5.3.7: Área Destinada a Escavação*

#### 5.4.2 SEÇÃO DA BARRAGEM PROJETADA



*Figura 5.3.8: Área de Proposta para Barragem - Projetada*





*Figura 5.3.9: Seção Proposta da Barragem – Projetada*

No projeto da barragem se encontra os detalhes da espessura, medidas e detalhes do material a ser constituído todo o barramento.

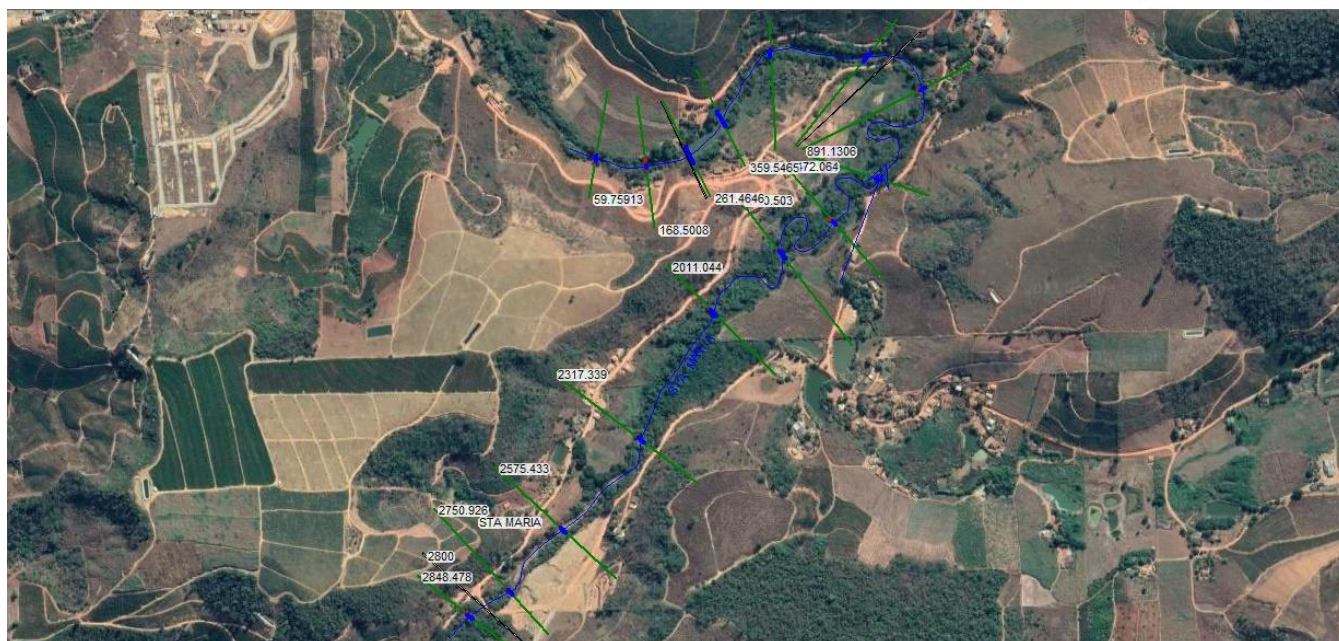
### 5.5 CONDIÇÕES DE CONTORNO

As principais condições de contorno que alimentaram a modelagem foram as seguintes para os dois cenários propostos:

- Vazão média de partida na montante do sistema =  $7,76 \text{ m}^3/\text{s}$
- Vazão para um período de retorno de 500 anos – Método Estatístico =  $194,72 \text{ m}^3/\text{s}$

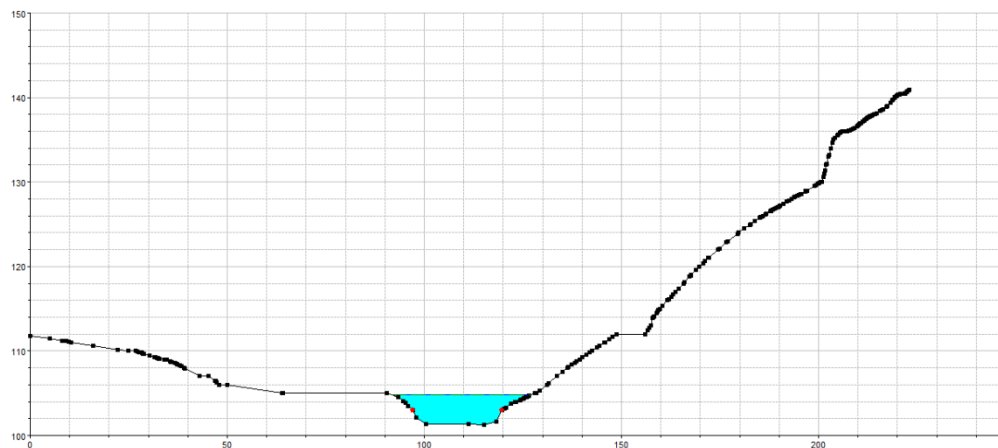
### 5.6 RESULTADOS PARA O CENÁRIO 1 – SITUAÇÃO ATUAL

Para o cenário atual quando se lança a vazão média no sistema observa o seguinte comportamento na região do estudo.

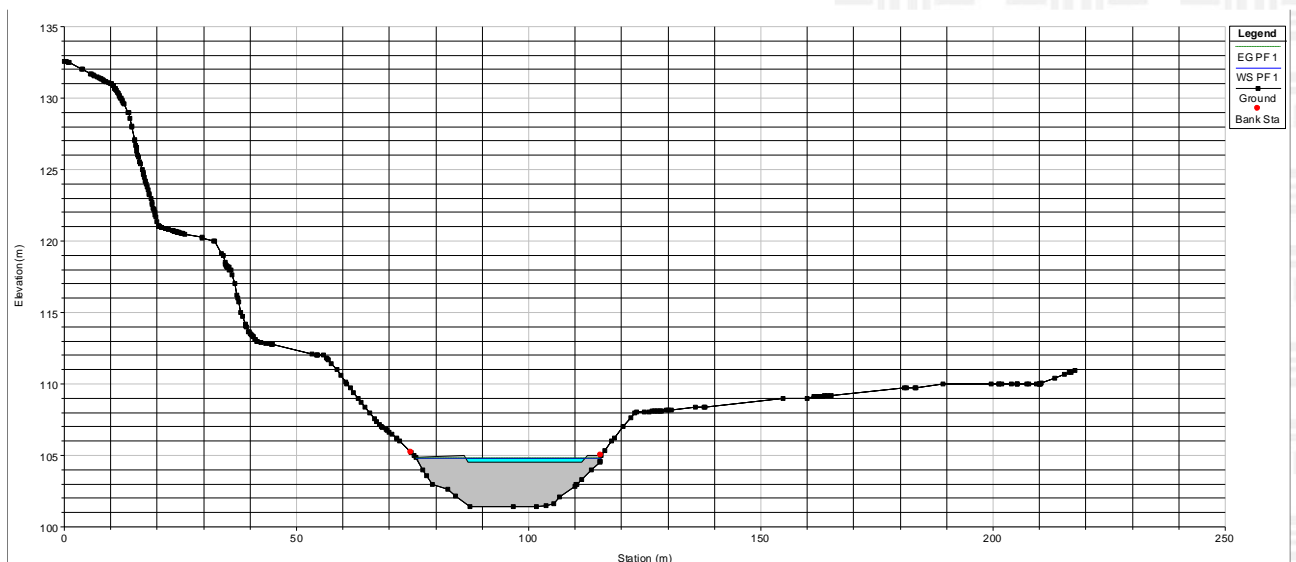


*Figura 5.5.1: Representação Gráfica da Simulação para o Cenário 1- Vazão Média*

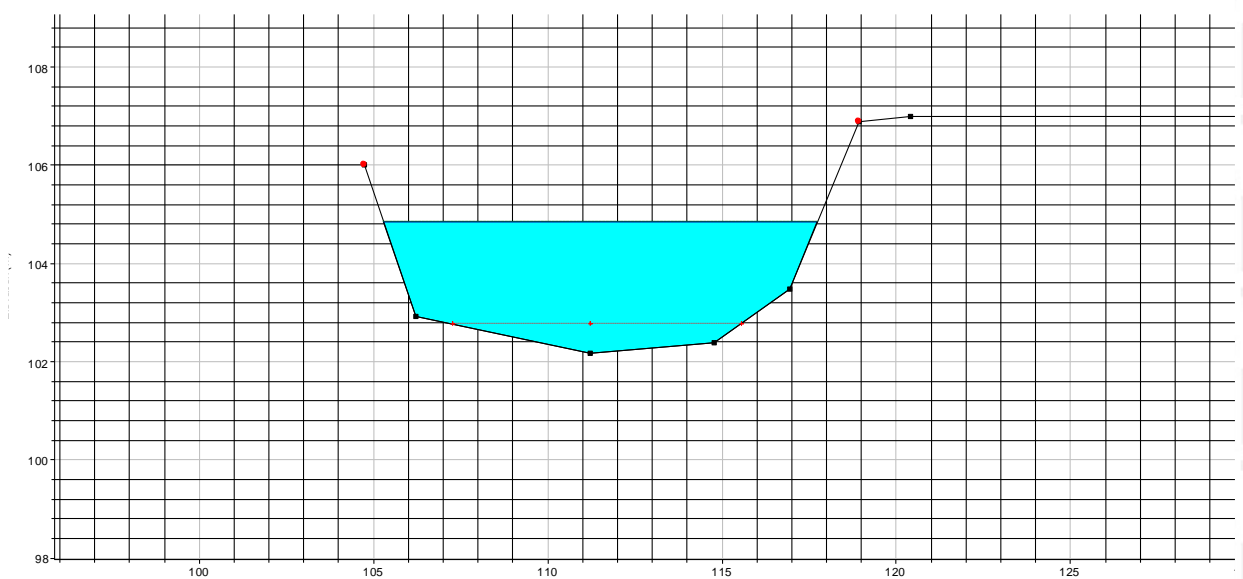
A indicação de cor azul sobre as seções mostra os locais onde o nível da água no rio com as vazões lançadas atingiu. A seguir algumas seções com a linha d'água serão apresentadas.



*Figura 5.5.2: Seção "359" – Nível Médio de Água*



*Figura 5.5.3: Seção Barragem Existente – Nível Médio de Água – Situação Atual*



*Figura 5.5.4: Seção '2848' – Nível Médio de Água*

io varia de 104,80 a

retorno de 500 anos



— Situação Atual

etorno 500 anos

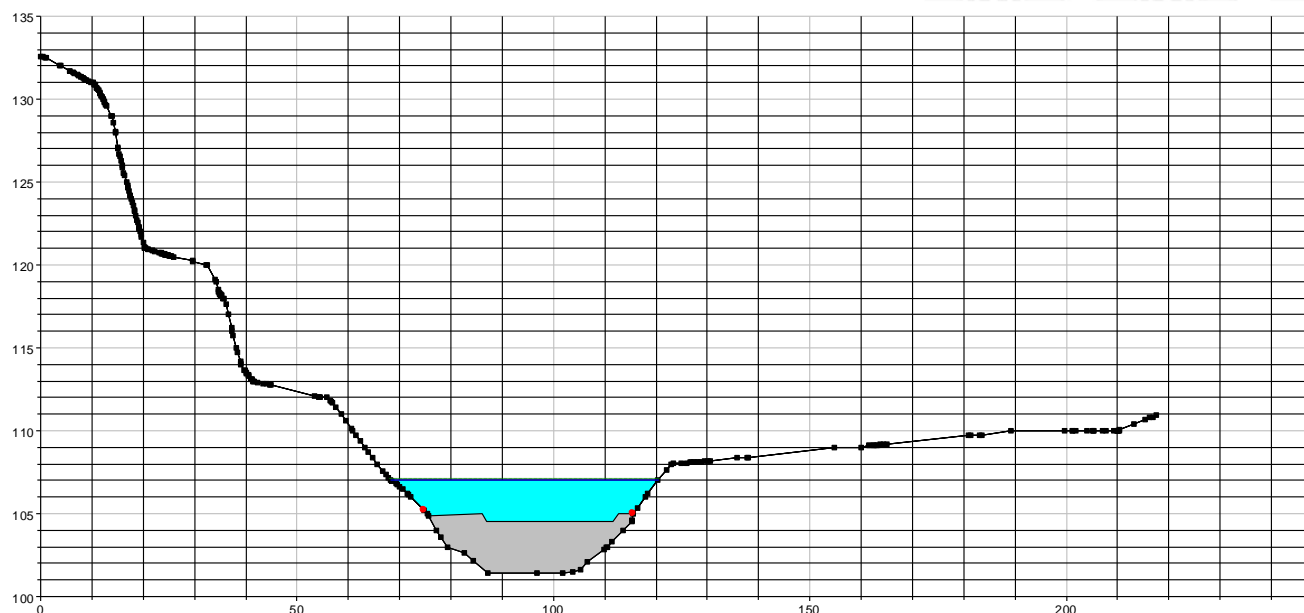


\_\_\_\_\_

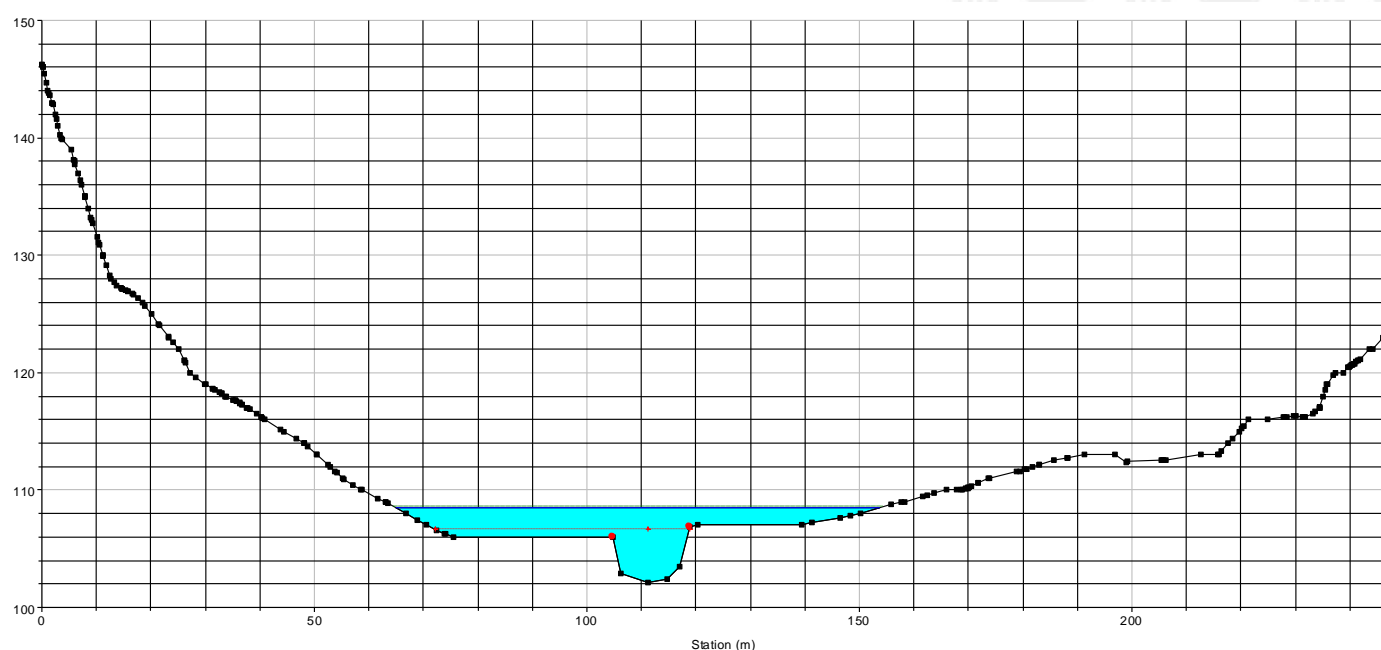


\_\_\_\_\_



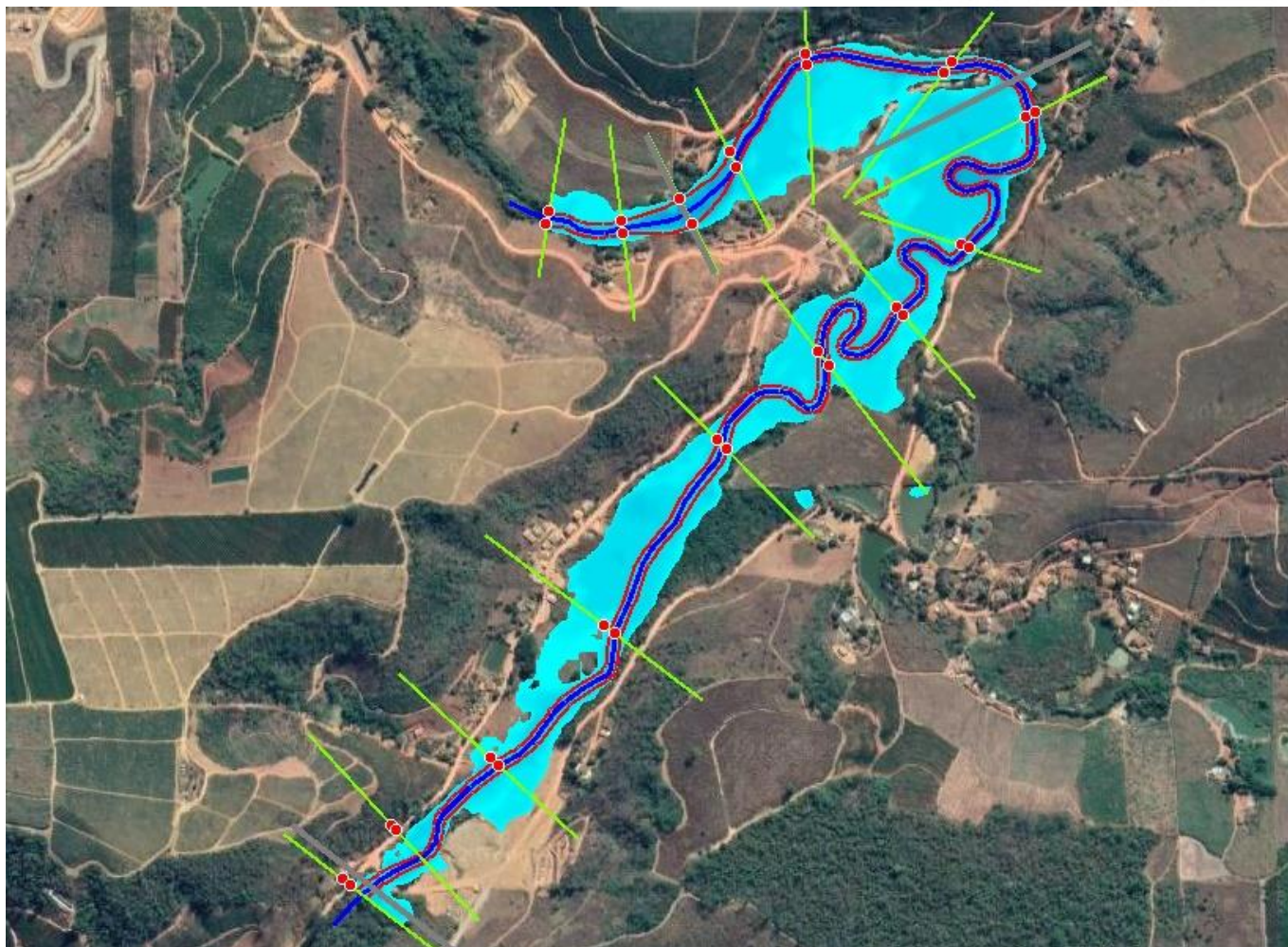


*Figura 5.5.3: Seção Barragem Existente – Período de Retorno 500 anos – Situação Atual*



*Figura 5.5.4: Seção '2848' – Período de Retorno 500 anos – Situação Atual*

As cotas em função da vazão simulada variam entre 107,30m na região da barragem existente e chegando até 108,20 m na montante nas proximidades das pontes existentes, ponte onde existe um estrangulamento na seção do rio. A seguir é apresentado uma mancha de inundação para essa vazão proposta:



*Figura 5.5.5: Mancha de Inundação para a Situação Atual – Vazão para 500 Anos*

## 5.7 RESULTADOS PARA O CENÁRIO 2 – PROJETO DA BARRAGEM IMPLANTADA

Para o cenário proposto com a barragem projetada e a vazão média e de 500 anos os resultados são apresentados a seguir. O dimensionamento do dispositivo de descarga de fundo e o vertedouro.

### 5.7.1 DESCARREGADOR DE FUNDO

Esse dispositivo para esse fim, no caso de barragem de concreto, é usual prever esse dispositivo no corpo da barragem. Na presente barragem será previsto um sistema de formato circular trabalhando como conduto forçado.

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

Q = Vazão m<sup>3</sup>/s

C = Coeficiente de Descarga – 0,62 a 0,95

A = Área do Conduto – m<sup>2</sup>

$g$  = Gravidade  $m^2/s$

$H$  = diferença do nível de água

Considerando uma vazão média observada no histórico da estação de  $6,40 m^3/s$ , para um tubo com diâmetro de  $1,20 m$  e uma carga a montante de  $4,00$  metros teremos uma vazão média no tubo de:

$$Q_{\text{tubo}} = 6,80 m^3/s > Q_{\text{média}} = 6,40 m^3/s.$$

Em situações normais o tubo de descarga seria suficiente para manter o sistema equilibrado a manter a vazão média sem o uso do vertedouro da barragem. Recomendações construtivas, além dos cuidados na manutenção e operação serão descritos na etapa do projeto.

### 5.7.2 VAZÃO MÍNIMA (VAZÃO ECOLÓGICA)

No que se trata de vazão mínima ou vazão ecológica existem diversas proposta e estudos a respeito, alguns deles dizem:

“Existem aproximadamente 207 metodologias, distribuídas em 44 países, para a avaliação da vazão ecológica classificadas em quatro tipos: hidrológicas, hidráulicas, habitat e holísticas (Sarmiento, 2007).”

Ainda segundo Sarmiento, 2007, no Brasil, as técnicas utilizadas para determinação de vazões ecológicas em rios resumem-se aos métodos hidrológicos, sendo mais específico o método da vazão  $Q_{7,10}$ , adotando-se como vazão ecológica uma fração deste valor referencial.

No estudo em questão a Vazão  $Q_{7,10}$  para os postos observados apresentaram os seguintes valores:

- Para a estação Santa Maria (56994000):  $Q_{7,10} = 0,233 m^3/s$
- Para a estação Córrego da Piaba – (56993551):  $Q_{7,10} = 0,352 m^3/s$

Em função do dispositivo de controle ser possível a regulação da vazão na operação está sendo sugerido como vazão de manutenção mínima um valor, quando possível de pelo menos 50 % da vazão média, que é em torno de  $3,20 m^3/s$ . Esse cenário deverá ser avaliado em conjunto com todos os órgãos responsáveis e operadores dentro da bacia em questão.

### 5.7.3 VOLUME MÉDIO DO RESERVATÓRIO

Não foi realizado uma variação da curva Cota x Volume em função das questões abordadas, no que se diz respeito a questões de desapropriação, recursos disponíveis, geometria e relevo do local de implantação e recursos financeiros disponíveis. Dessa forma, em conjunto com a prefeitura, e análise prévia determinou-se como cota de inundação da Cota 105,00. Em função dessa cota se chegou ao seguinte volume após a realização da escavação da área a ser desapropriada:



Quadro 5.5.1: Volume do Reservatório

Volume do Reservatório	
Volume de Reservação (m <sup>3</sup> )	Local
235.238,03	Área Prevista para o lago na cota 105,00
74.664,200	Área referente a reservação do canal preenchido dentro do lago
<b>Total = 309,902,203 m<sup>3</sup></b>	

Os detalhes dessa escavação estão apresentados no item de projeto.

### 5.7.3 VERTEDOURO

Em função do tipo de barragem escolhida pela prefeitura e conforme os fatores já apresentados, o vertedouro será do tipo soleira livre. Ainda em função de restrições já apresentadas, como desapropriação e controle de cota de inundação, lançou mão do método iterativo por meio do software utilizado, e chegou-se a uma estrutura de comprimento médio de 20,00 m com 1,00 de altura em relação a cota de operação do lago, 105,00 m. Essa dimensão visa manter o lago na cota 105 e em caso de aumento gradativo da vazão ao longo dos períodos chuvosos a cota do reservatório não aumente muito em condições de operações de vazões médias. Também se ressalva conforme simulação já apresentada, o local em questão, já apresenta histórico de inundação na situação atual, dessa forma com o aumento gradativo da vazão em cheias de períodos de retorno menores, ocorrerá aumento de áreas de inundação a montante do lago.

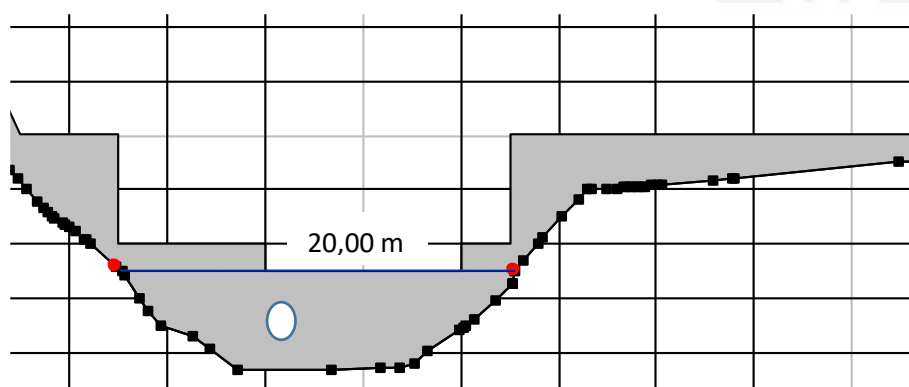


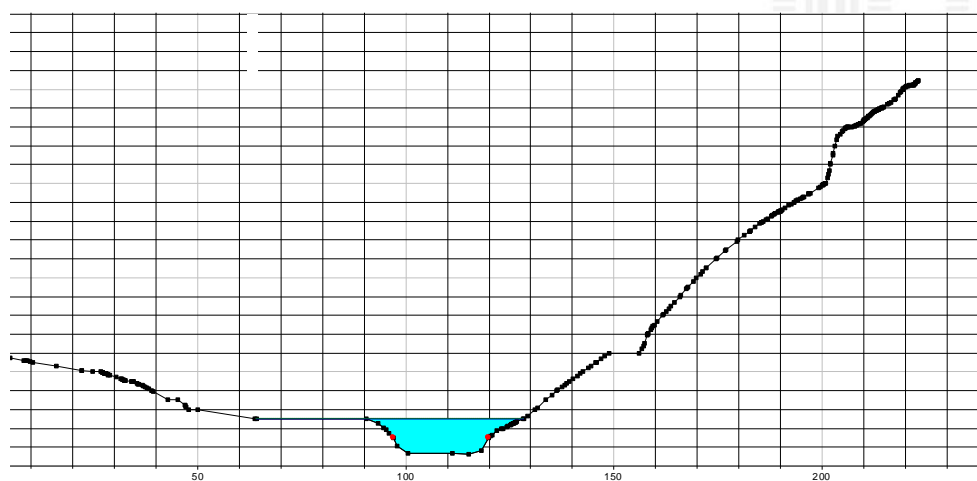
Figura 5.5.6: Esquema do Vertedouro da Barragem Projetada



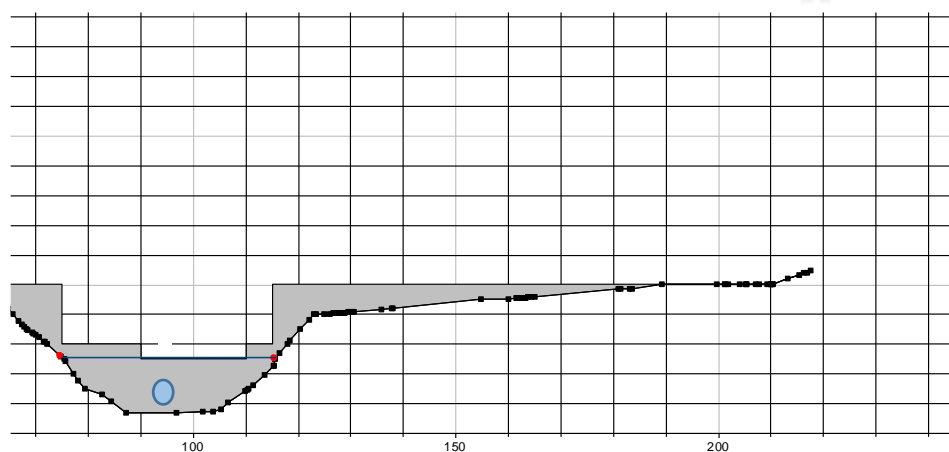
Os resultados para a vazão média com o cenário modelado para a implantação da barragem foram os seguintes:



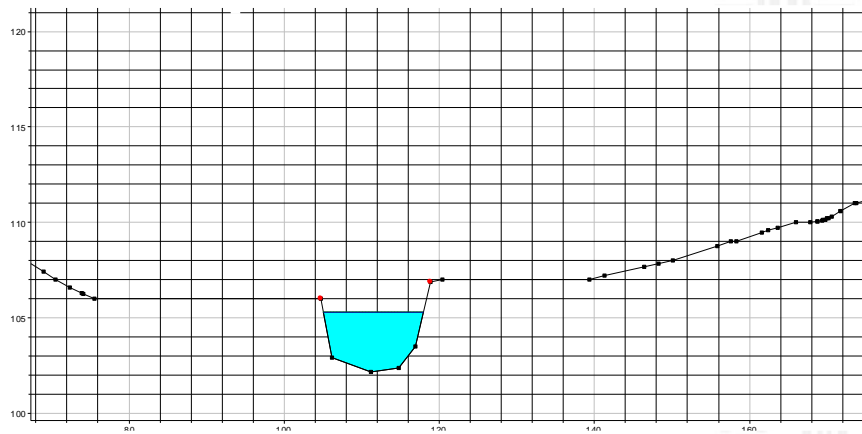
*Figura 5.5.7: Vazão Média no Sistema*



*Figura 5.5.7: Nível de Água – Seção 359 – Vazão Média*



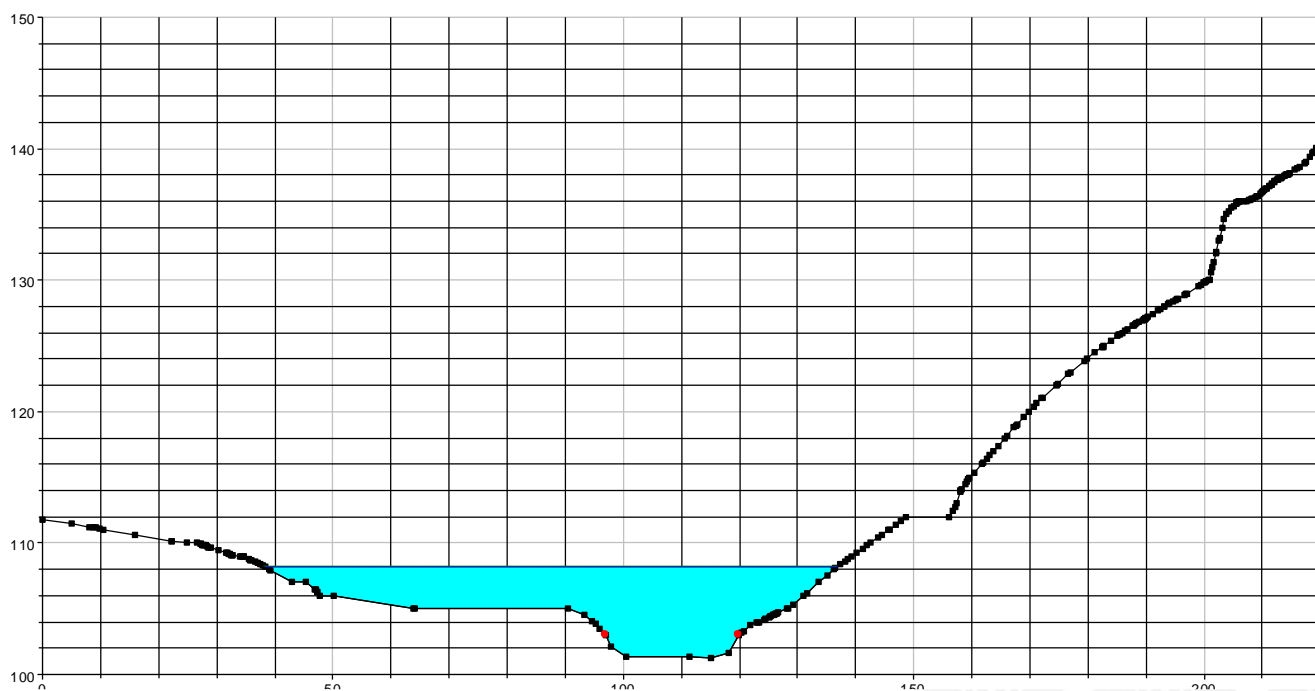
*Figura 5.5.8: Nível de Água – Seção da Barragem – Vazão Média*



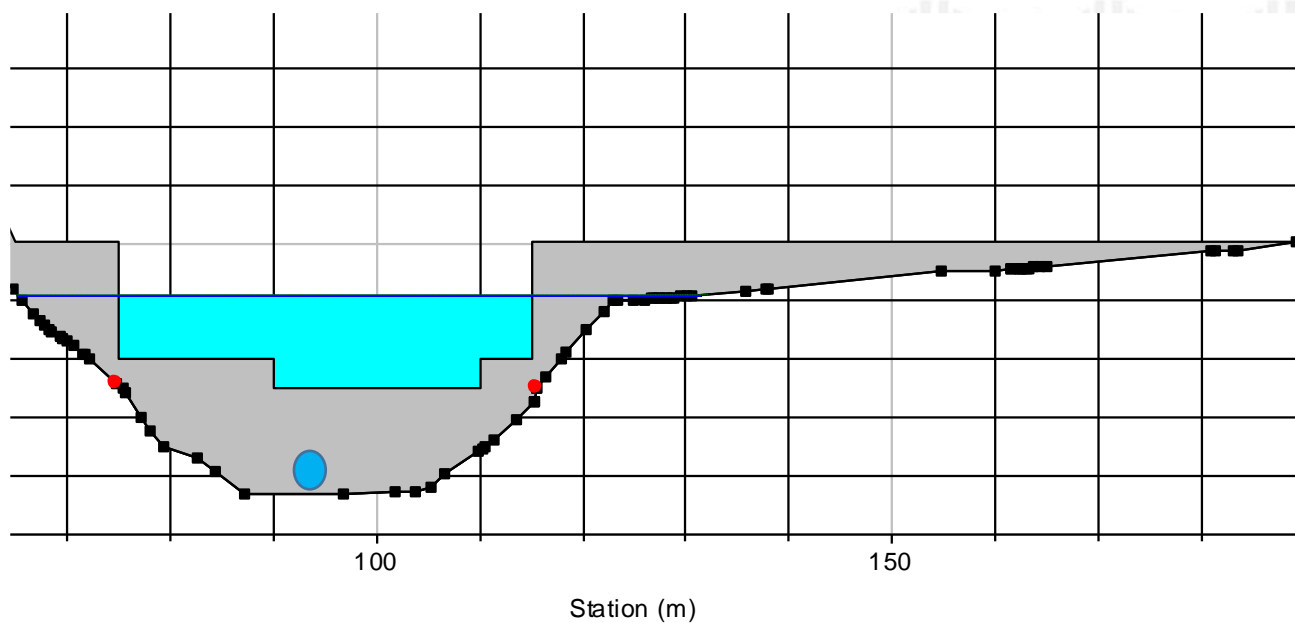
Com a vazão média aplicada e no primeiro momento mantendo o sistema de controle de fundo fechado a cota vai oscilar de 105,00 até o máximo de 105,20 na montante da ponte 02, seção 2848.



*Figura 5.5.10: Vazão para 500 anos*

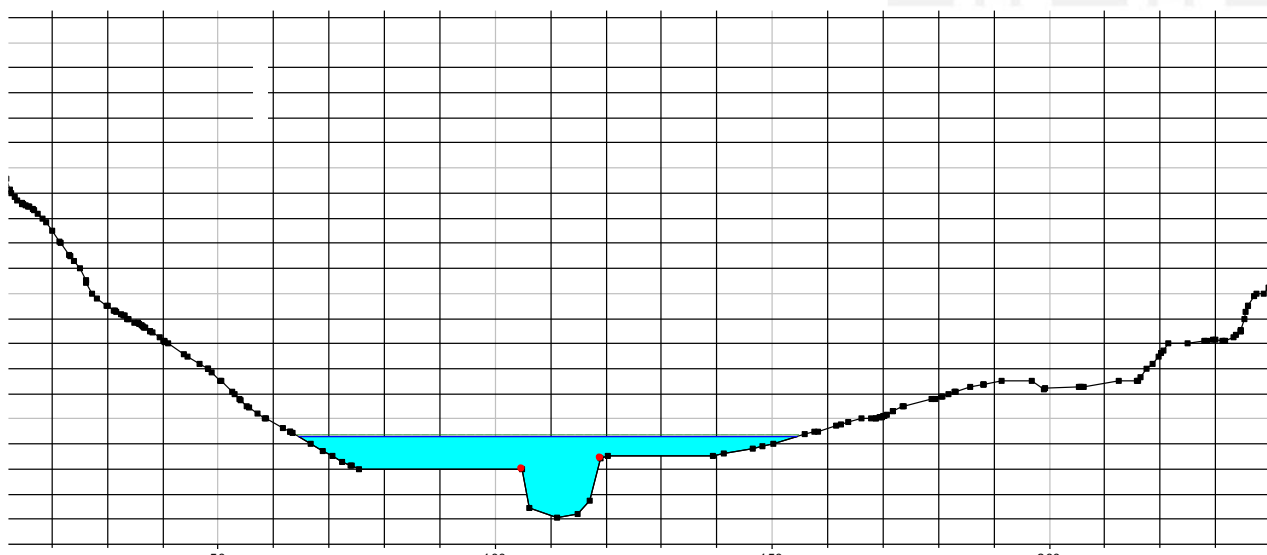


*Figura 5.5.11: Nível de Água – Seção 359 – Vazão de 500 anos*



*Figura 5.5.11: Nível de Água – Seção da Barragem – Vazão de 500 anos*

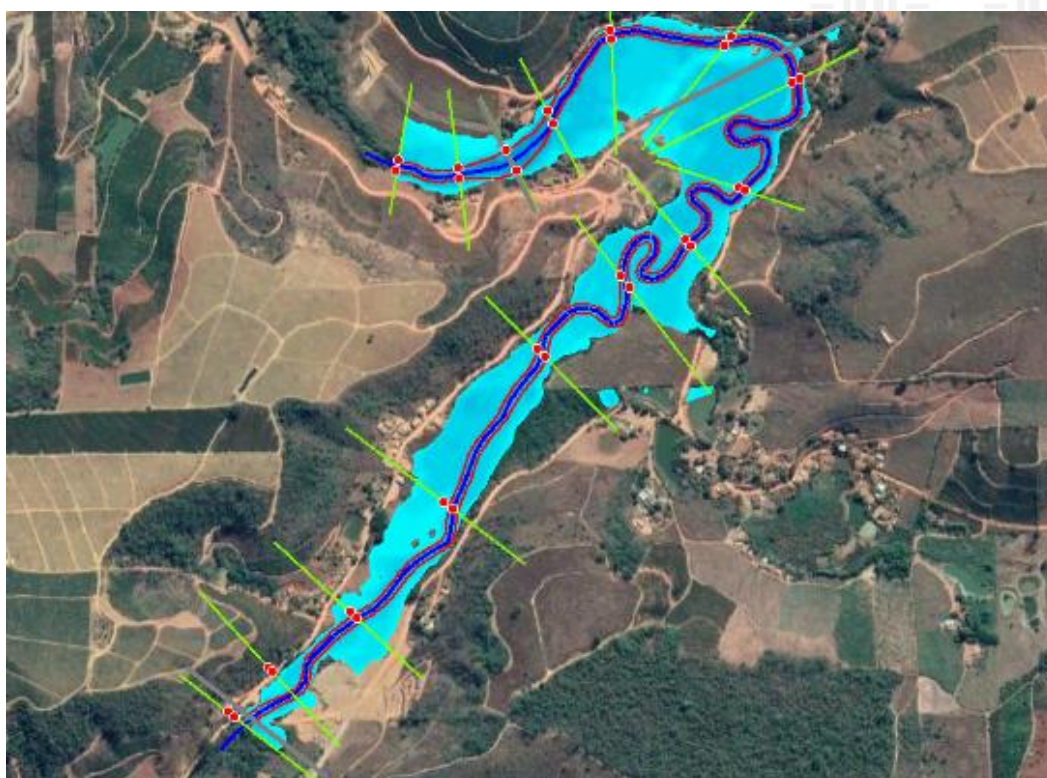




*Figura 5.5.12: Nível de Água – Seção 2848 – Vazão de 500 anos*

Foi verificado que ao longo das seções, conforme apresentado variações das cotas entre 108,25 a 108,65 m, entre a barragem e a última seção a montante (2848) estrangulamento da seção pela ponte.

A mancha de inundação para o cenário para a vazão de 500 anos apresentou a seguinte forma:



*Figura 5.5.12: Área de Inundação – Vazão de 500 anos*



## 6. RESULTADOS E CONCLUSÃO

Conforme apresentado os 2(dois) cenários em questão, o cenário atual e projetado, principalmente, é desafiador, pois o local apresenta drástica variação no regime de chuvas e cheias, possuindo períodos de secas prolongadas e vazões demasiadamente altas e históricas nos períodos chuvosos, inclusive com vazões históricas já registradas.

É importante para a manutenção da vazão a jusante da barragem o controle e operação do dispositivo de controle de vazão de fundo, assim como limpeza e outros procedimentos recomendados no projeto. É importante que seja previsto no projeto uma borda livre que seja de no mínimo 0,50 m da cota máxima obtida no estudo em questão.