



D. ESTUDOS HIDROLÓGICOS



D. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

D.1. INTRODUÇÃO

Os estudos hidrológicos visaram conhecer as condições hídricas da região onde está inserida a Rodovia Estadual ERS-143, SRE: 143ARS1005, trecho Entr. ERS-143 - Engenho Velho, com extensão de 8,04 km. Trata-se da readequação dos estudos hidrológicos contidos no Projeto Final de Engenharia, desenvolvido pela Magna Engenharia Ltda, com data de dezembro de 2013.

Os Estudos Hidrológicos também têm o objetivo de identificar e avaliar a circulação das águas que interceptam o corpo estradal, fornecendo subsídios para a definição dos tipos de dispositivos de drenagem a serem utilizados com relação à sua localização e dimensionamento hidráulico.

Com auxílio dos elementos pluviométricos foi possível avaliar as vazões das bacias hidrográficas, definir e dimensionar dispositivos de drenagem adequados de forma a proteger o corpo estradal dos efeitos das águas.

No desenvolvimento dos estudos foram estabelecidos os seguintes procedimentos:

- Coleta de dados pluviométricos, geomorfológicos e climáticos da região;
- Estudos de cartas topográficas;
- Estudos complementares de campo;
- Definições dos tempos de recorrência pluviométricos;
- Determinação das descargas das bacias hidrográficas.

D.2. COLETA DE DADOS

A coleta dos principais dados foi realizada junto a órgãos oficiais. A seguir estão listadas algumas das referências utilizadas:

- Pesquisas de dados pluviométricos da Estação Pluviométrica Linha Cescon, código 02753004, localizada no município de Sarandi/RS, junto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA);
- Cartas do serviço Geográfico do Ministério do Exército na escala 1:50.000;
- Atlas Climático da Região Sul do Brasil, da EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, vinculada ao Ministério da Agricultura e Pecuária;
- Atlas Climático do Rio Grande do Sul, da FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Estadual, vinculada atualmente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul;
- Levantamentos topográficos e inspeções de campo;



- Levantamentos de Recursos Naturais, Volume 33, publicado em 1986 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). PROJETO RADAMBRASIL.

D.3. CARACTERÍSTICAS DA REGIÃO

D.3.1. Características Geomorfológicas

A rodovia em estudo localiza-se na Região Geomorfológica Planalto das Missões, na Unidade Geomorfológica Planalto de Santo Ângelo.

D.3.2. Características da Vegetação

A Região Geomorfológica Planalto das Missões refere-se a uma das áreas agrícolas mais importantes na economia do Estado do Rio Grande do Sul.

As formas de relevo homogêneas e suaves, os solos profundos, representados por Latossolos e Terras Roxas Estruturadas, favorecem a atividade agrícola, que substitui a Floresta Estacional Decidual original.

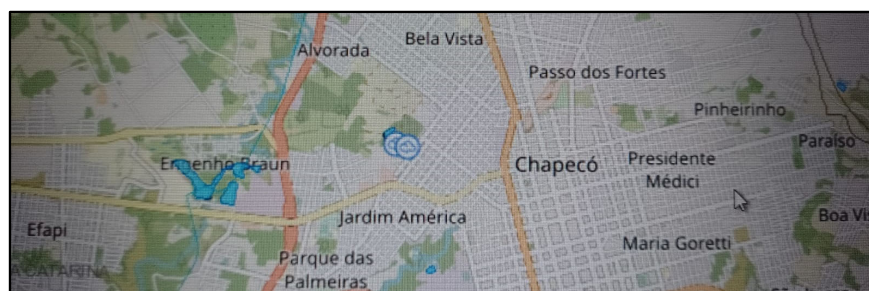
O trecho em estudo envolve uma região caracterizada por uma vegetação arbustiva e de pequenas árvores, com lavouras.

D.3.3. Características Climáticas

Dados climáticos da região foram pesquisados junto ao: a) Atlas Climático do Rio Grande do Sul (da FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Estadual, vinculada atualmente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul); b) Atlas Climático da Região Sul do Brasil (da EMBRAPA – Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura e Pecuária).

Na figura 1, apresentada abaixo, é exibido mapa de localização do posto climatológico.

Figura 1: Mapa de Localização do Posto Climatológico.





Fonte: Consultoria de Projetos.

D.3.3.1. Clima

Segundo a classificação climática de Wladimir Koppen, o clima da região do projeto é subtropical úmido sem estação seca distinta, com verão fresco (Cfb). A temperatura média anual situa-se em torno de 16,7°C, com insolação média no ano de 2.234 h e com precipitação média anual de 1.944 mm.

D.3.3.2. Temperatura

No Atlas Climático da Região Sul do Brasil (da EMBRAPA – Embrapa Brasileira de Pesquisa Agropecuária do Ministério da Agricultura e Pecuária), para a estação de Chapecó/SC (localizada a aproximadamente 76,00 km do trecho estudado), a temperatura média anual resultou em 18,9°C. As temperaturas mínimas, médias e máximas mensais são apresentadas na Tabela 1, a seguir exibida:

Tabela 1: Temperaturas Médias.

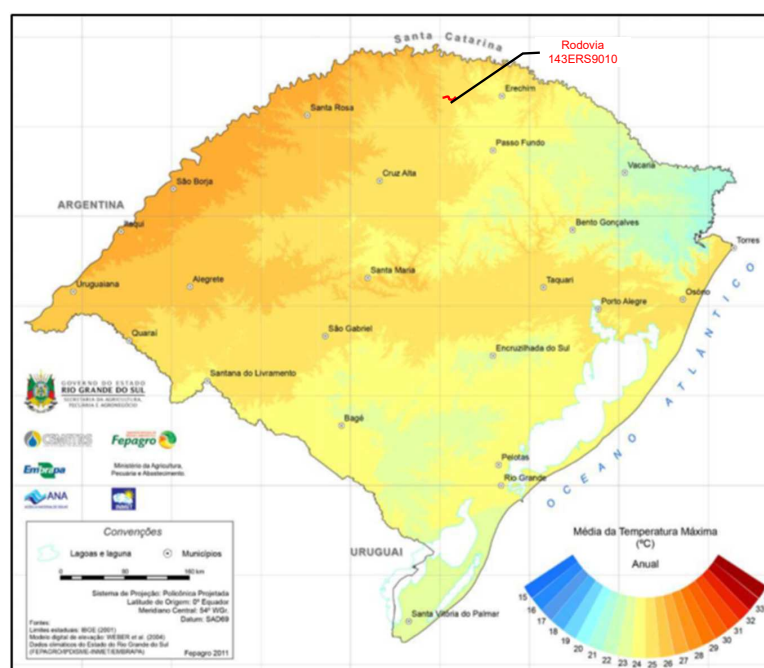
Temperaturas Médias (°C)			
Período	Mínima	Média	Máxima
Janeiro	18,8	23,3	29,2
Fevereiro	18,4	22,7	28,6
Março	17,6	21,7	28,0
Abril	15,1	18,8	25,0
Maio	12,0	15,8	21,4
Junho	11,2	14,1	20,2
Julho	10,4	14,2	20,0
Agosto	11,8	15,9	22,1
Setembro	12,5	16,9	22,8
Outubro	14,9	19,3	25,5
Novembro	16,3	21,0	27,2
Dezembro	18,0	22,7	28,6
Anual	14,8	18,9	24,9

Fonte: Consultoria de Projetos.

Ainda, referente a temperatura, tomou-se algumas informações do Atlas Climático do Rio Grande do Sul (da FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Estadual, vinculada atualmente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul), que são exibidas abaixo:

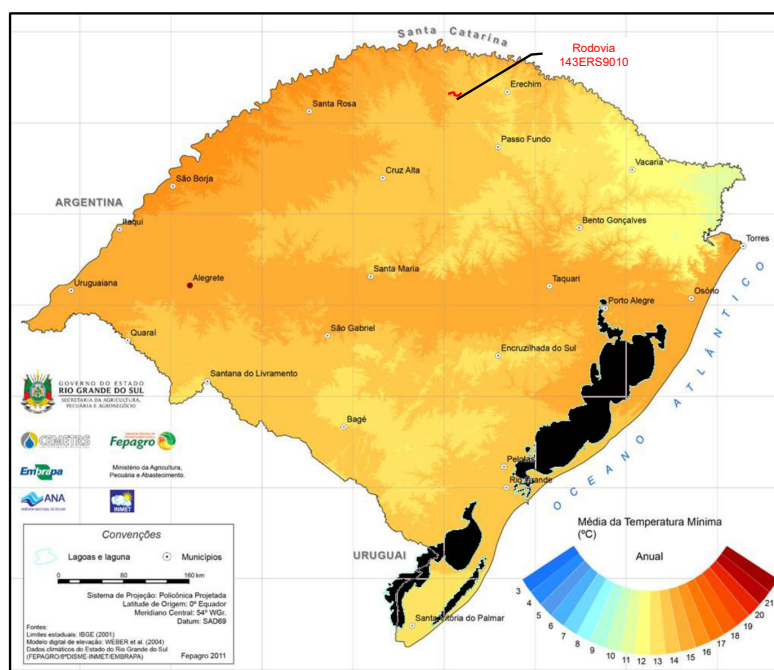


Figura 2: Mapa de temperaturas máximas no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático do Rio Grande do Sul.

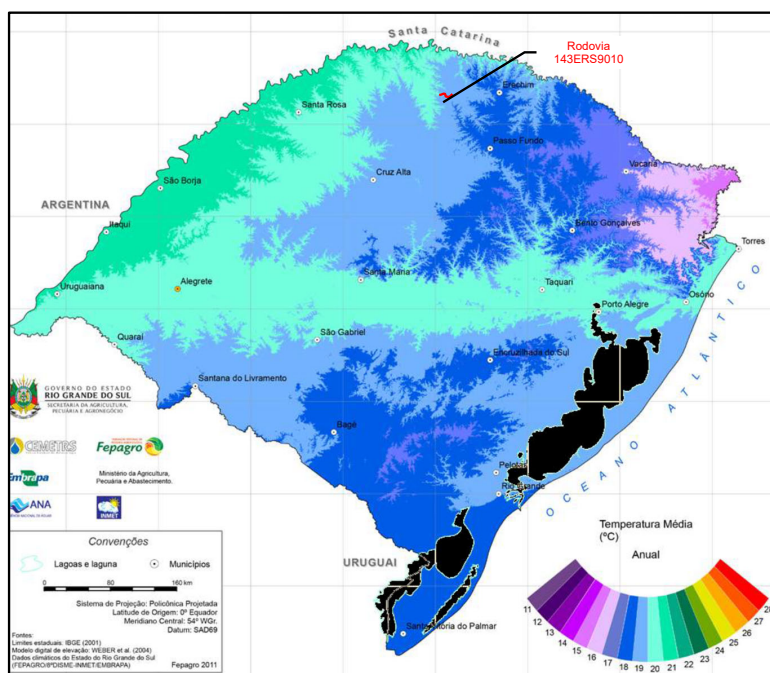
Figura 3: Mapa de temperaturas mínimas no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático do Rio grande do Sul.



Figura 4: Mapa de temperatura média anual no Estado do Rio Grande do Sul.



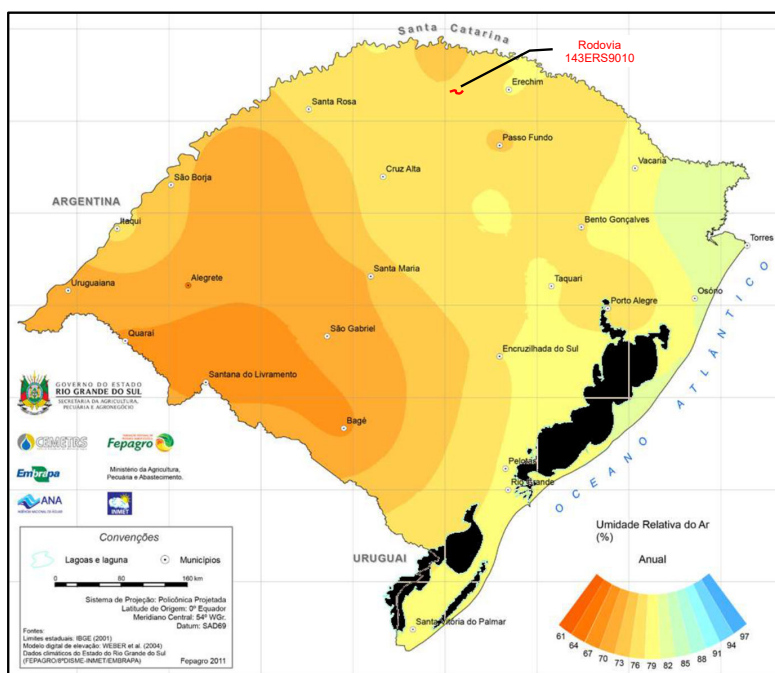
Fonte: Atlas Climático do Rio Grande do Sul.

D.3.3.3. Umidade Relativa do Ar

A umidade relativa do ar, que muda em função da localização, na região apresenta uma média anual de 76,0% segundo o Atlas Climático do Rio Grande do Sul (da FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Estadual, vinculada atualmente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul).



Figura 5: Mapa de umidade relativa do ar média no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático do Rio Grande do Sul.

Relativo a Estação Passo Fundo, têm-se as umidades relativas do ar médias apresentadas na Tabela 2, apresentada abaixo:

Tabela 2: Umidade Relativa do Ar Médias.

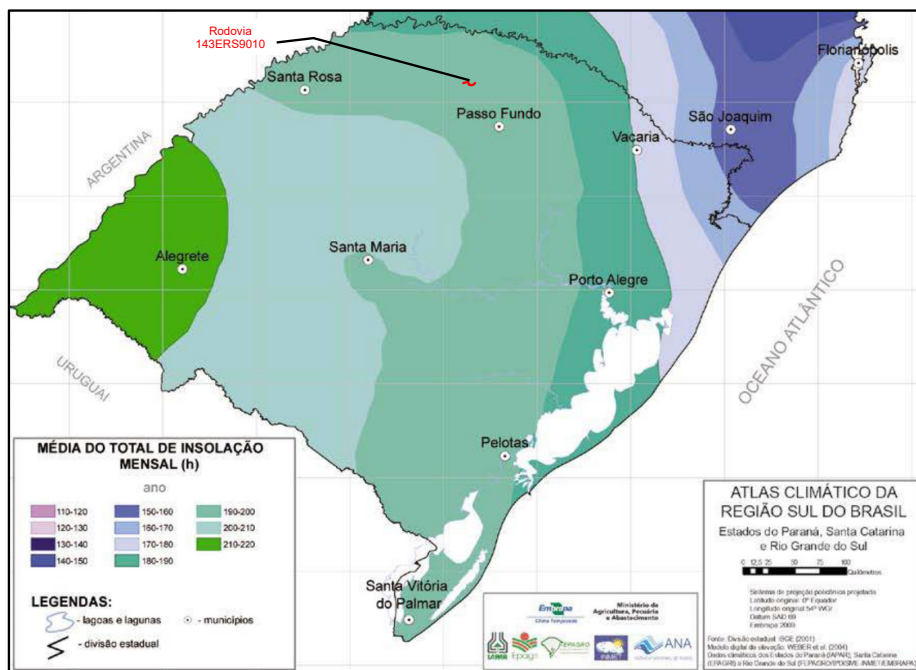
Umidade Relativa do Ar Médias (°C)	
Período	Máxima de 24 h Acumulada no Mês
Janeiro	71,4
Fevereiro	75,2
Março	74,3
Abril	74,2
Maiο	75,8
Junho	76,6
Julho	75,1
Agosto	71,7
Setembro	71,9
Outubro	70,2
Novembro	66,3
Dezembro	67,1
Anual	72,5

Fonte: Consultoria de Projetos.



D.3.3.4. Insolação

Figura 6: Mapa de insolação média no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático da Região Sul do Brasil.

A insolação corresponde ao número de horas de brilho solar, e muda em função da localização. Segundo dados obtidos do Atlas Climático da Região Sul do Brasil, tem-se que: a) a insolação anual máxima ocorre nos meses de janeiro e de dezembro, com uma média entre 240 e 250 horas; b) em junho ocorre a insolação mínima, com uma média entre 190 e 200 horas.

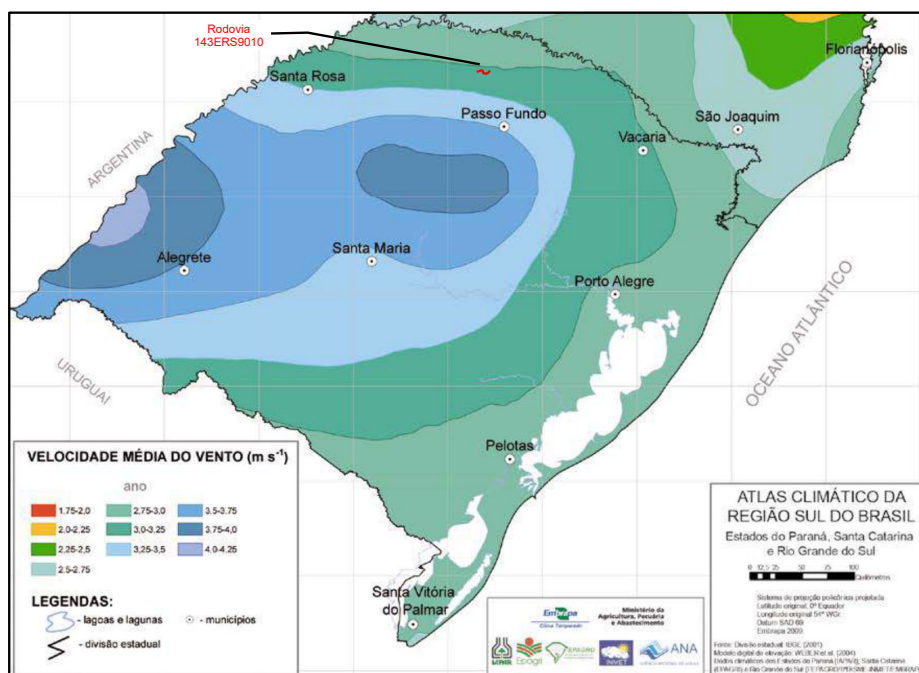
D.3.3.5. Velocidade Média do Vento

O vento é uma variável meteorológica formada pelo movimento do ar na atmosfera. É gerado pelos fenômenos naturais.

Na Figura 7 é exibido o mapa de velocidade do vento média no Estado do Rio Grande do Sul.



Figura 7: Mapa de velocidade do vento média no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático da Região Sul do Brasil.

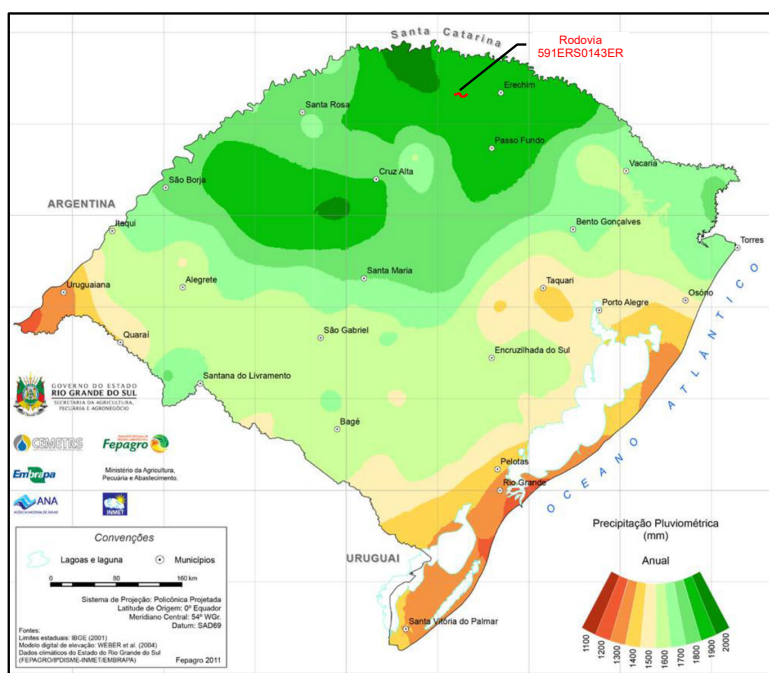
A direção média horária predominante do vento em Engenho Velho varia durante o ano. O vento mais frequente é entre o Leste (L) e o Nordeste (NE).



D.3.3.6. Descrição sobre as variações de Precipitação, Máxima e Média

Referente a precipitação, tomou-se algumas informações do Atlas Climático do Rio Grande do Sul (da FEPAGRO – Fundação Estadual de Pesquisa Estadual, vinculada atualmente à Secretaria da Agricultura, Pecuária e Agronegócio do Estado do Rio Grande do Sul), que são exibidas abaixo:

Figura 8: Mapa de precipitação média anual no Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: Atlas Climático do Rio Grande do Sul.

Relativo a dados pluviométricos da Estação Pluviométrica Linha Cescon, código 02753004, tem-se as precipitações médias (média acumulada no mês e média da máxima de 24 h acumulada no mês) apresentadas na Tabela 3:



Tabela 3: Precipitações Médias.

Precipitações Médias (mm)		
Período	Acumulado no Mês	Máxima de 24 h Acumulada no Mês
Janeiro	160,9	48,3
Fevereiro	148,5	43,6
Março	117,5	40,1
Abril	135,8	46,8
Maio	150,4	61,1
Junho	152,7	53,5
Julho	146,7	50,1
Agosto	147,7	46,1
Setembro	162,0	52,5
Outubro	195,2	56,2
Novembro	136,9	47,0
Dezembro	149,0	52,5
Anual	150,3	49,8

Fonte: Consultoria de Projetos.

D.3.4. Hidrografia

A hidrografia foi pesquisada, principalmente, junto a página eletrônica da Secretaria de Meio Ambiente e Infraestrutura do Estado do Rio Grande do Sul.

Entende-se por bacia hidrográfica toda a área de captação natural da água da chuva que escoar superficialmente para um corpo de água ou seu contribuinte. Os limites da bacia hidrográfica são definidos pelo relevo, considerando-se como divisores de águas as áreas mais elevadas. O corpo de água principal, que dá o nome à bacia, recebe contribuição dos seus afluentes sendo que cada um deles pode apresentar vários contribuintes menores, alimentados direta ou indiretamente por nascentes. Assim, em uma bacia existem várias sub-bacias ou áreas de drenagem de cada contribuinte. Estas são as unidades fundamentais para a conservação e o manejo, uma vez que a característica ambiental de uma bacia reflete o somatório ou as relações de causa e efeito da dinâmica natural e ação humana ocorridas no conjunto das sub-bacias nela contidas.

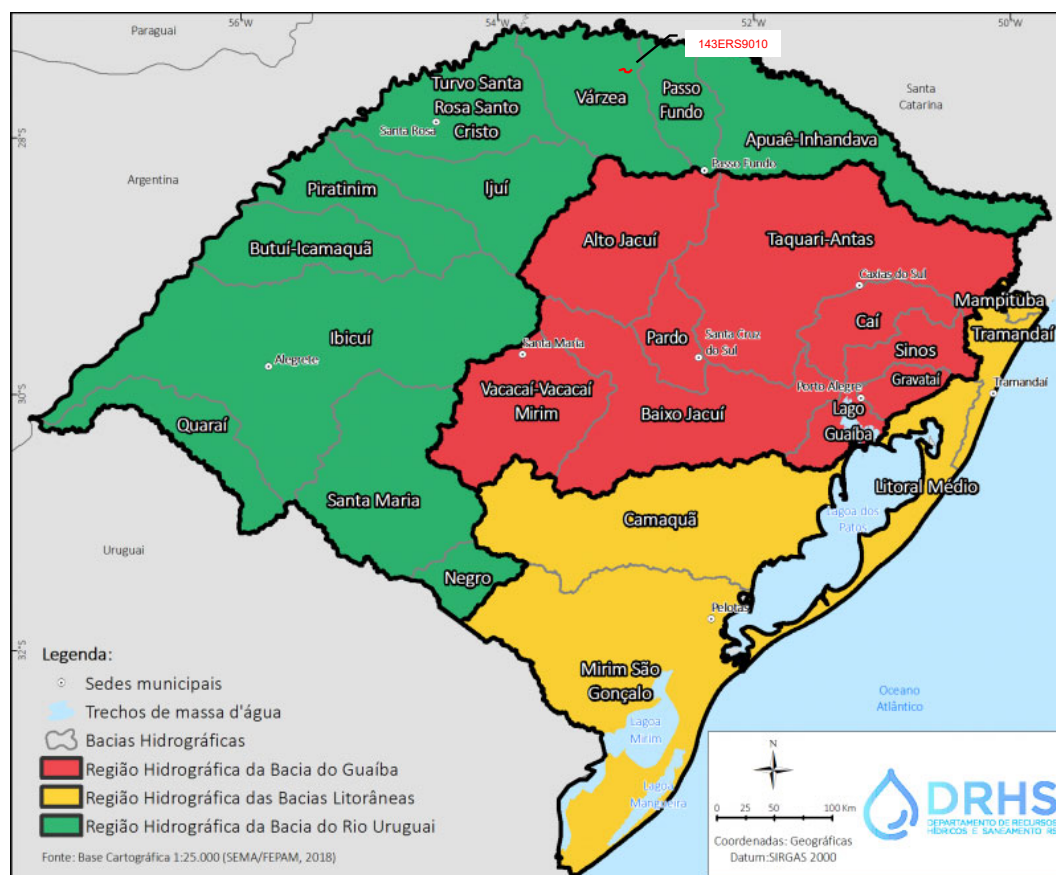
A bacia hidrográfica serve como unidade básica para gestão dos recursos hídricos e para gestão ambiental, uma vez que os elementos físicos naturais estão interligados pelo ciclo da água. Desta forma, o artigo 171 da Constituição Estadual estabeleceu um modelo sistêmico para a gestão das águas do Rio Grande do Sul e a Lei Estadual 10.350/1994 regulamentou esse artigo e estabelecendo que para cada uma das 25 bacias do Estado, a formação de um comitê de gerenciamento, o Comitê de Bacia. De acordo com a referida lei, foi determinada a existência de três Regiões Hidrográficas em que as bacias hidrográficas são agrupadas para fins de gerenciamento.

As três regiões hidrográficas são: a região do rio Uruguai que coincide com a bacia nacional do Uruguai, a região do Gualba e a região do Litoral, que coincidem com a bacia nacional do Atlântico



Sudeste. O Decreto nº 53.885, de 18 de janeiro de 2018, institui subdivisão das Regiões Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul em 25 Bacias Hidrográficas:

Figura 9: Mapa das Bacias Hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul.



Fonte: <https://sema.rs.gov.br/u100-bh-varzea>.

O trecho estudado está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio da Várzea, localizada na Região Hidrográfica da Bacia do Rio Uruguai, possui área de 9.479 km² e população estimada de 305.619 habitantes (2020), sendo 183.453 habitantes em áreas urbanas e 122.167 habitantes em áreas rurais.

D.4. DADOS PLUVIOMÉTRICOS

Para a avaliação das características pluviométricas da região em estudo foram pesquisados dados junto a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA).

O posto escolhido abrange a área onde está localizada a rodovia deste estudo. A seguir, no Quadro 1 é apresentada a localização da estação; e na Figura 10 o mapa de localização da estação pluviométrica.

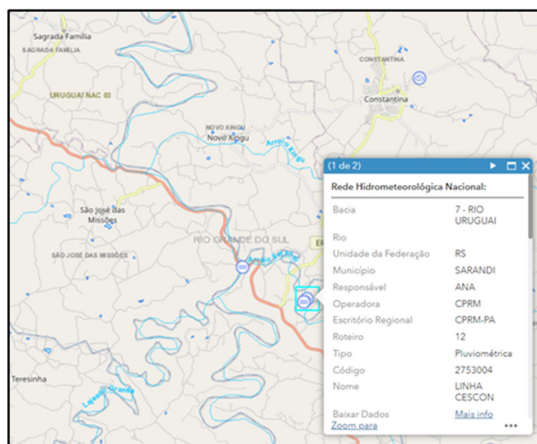


Quadro 1: Localização da Estação Linha Cescon.

ESTAÇÃO	LOCAL	LATITUDE	LONGITUDE	PERÍODO	Nº DE OBSERVAÇÕES ÚTEIS
LINHA CESCON	SARANDI/RS	-27,81	-53,03	1960 a 2022	63

Fonte: Consultoria de Projetos.

Figura 10: Mapa de Localização da Estação Pluviométrica.

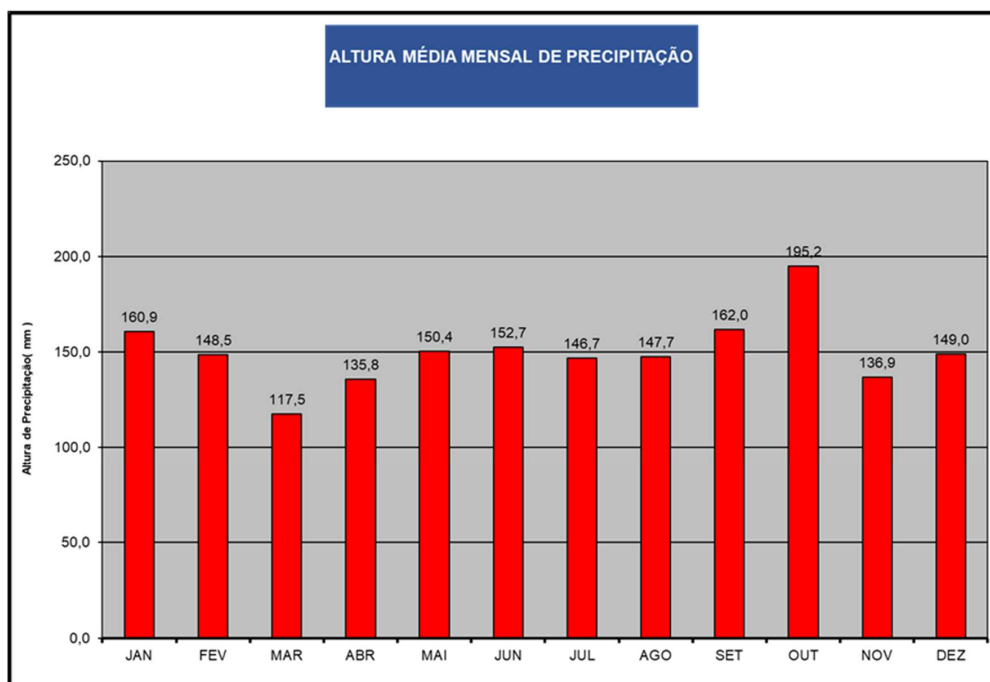


Fonte: Consultoria de Projetos.

A seguir são apresentados histogramas contendo, respectivamente: a altura da precipitação média mensal (Figura 11); a média de dias chuvosos mensal (Figura 12); a altura de precipitação total anual (Figura 13); total de dias chuvosos anual (Figura 14).

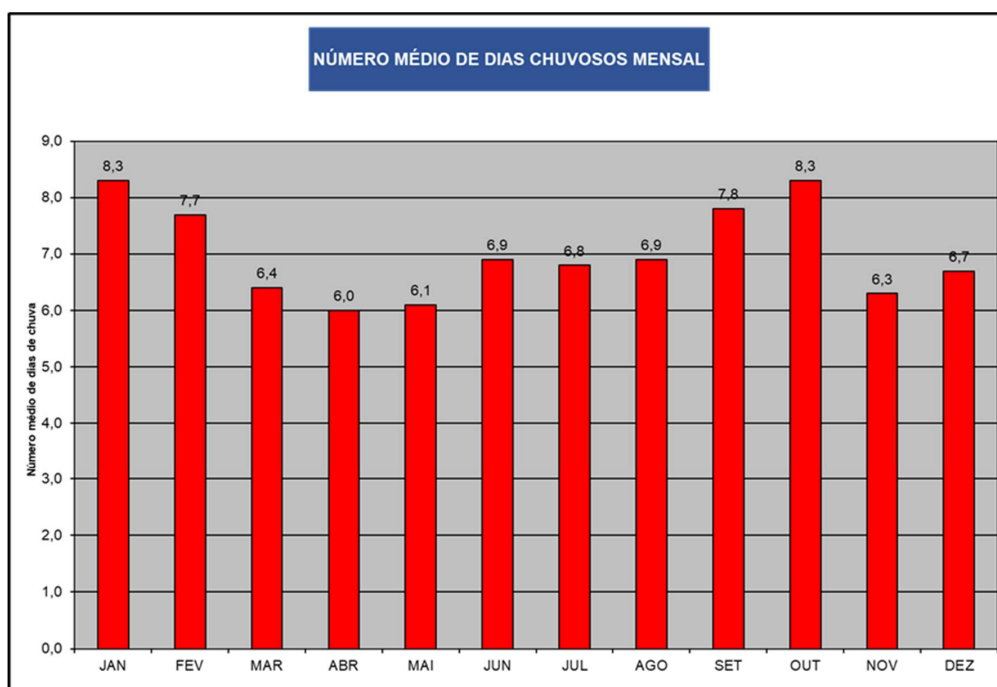


Figura 11: Altura da Precipitação Média Mensal.



Fonte: Consultoria de Projetos.

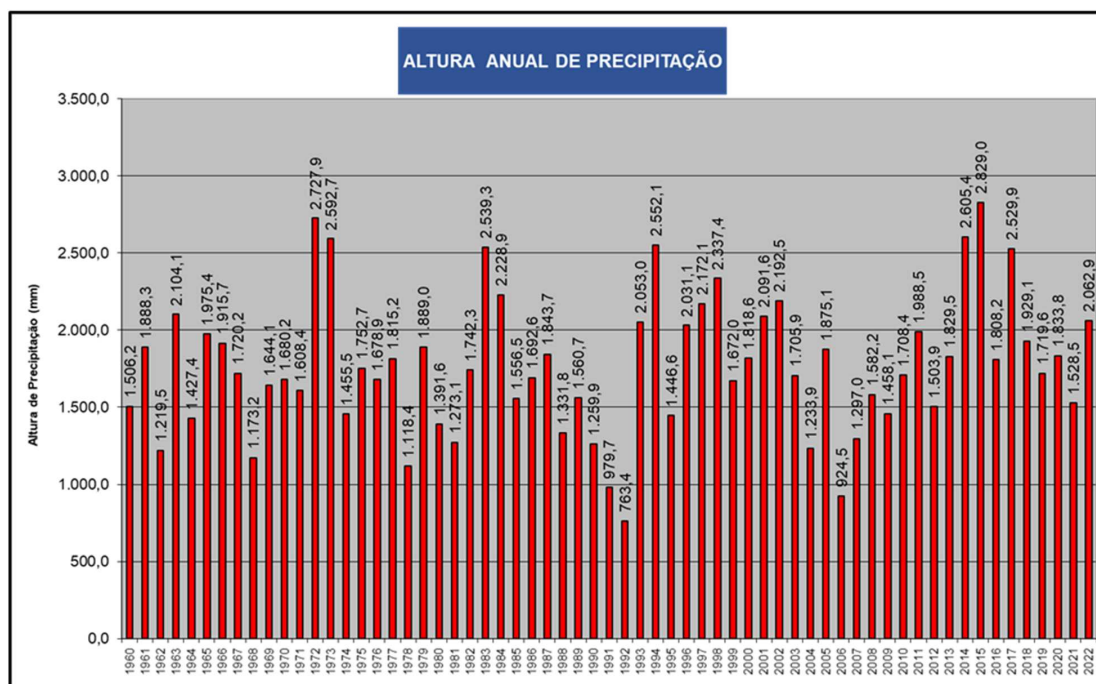
Figura 12: Média de Dias Chuvosos Mensal.



Fonte: Consultoria de Projetos.

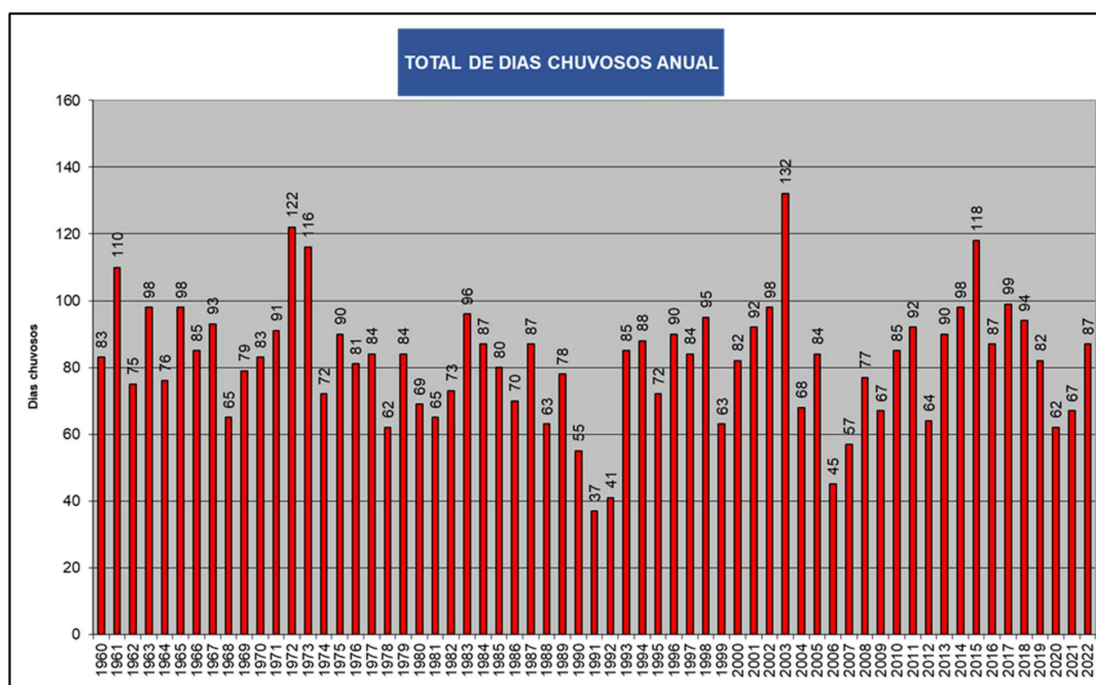


Figura 13: Altura de Precipitação Total Anual.



Fonte: Consultoria de Projetos.

Figura 14: Total de Dias Chuvosos Anual.



Fonte: Consultoria de Projetos.



D.5. ESTUDOS ESTATÍSTICOS DAS CHUVAS

Das precipitações máximas diárias foram calculados: a precipitações média e o desvio padrão. Utilizando a metodologia das probabilidades extremas de Gumbel, obteve-se a máxima precipitação de um dia, para os tempos de recorrência desejados.

A partir da relação obtida por Gumbel e do número real de anos de observação adotou-se a fórmula geral devida a Ven Te Chow:

$$P_n = \bar{P} + K \cdot \sigma,$$

sendo:

P_n = precipitação máxima de 1 dia para tempo de recorrência desejado;

$\bar{P}$ = precipitação média para máximas diárias;

σ = desvio padrão das chuvas máximas diárias;

K = fator de frequência de Gumbel.

Na Tabela 4, a seguir, são apresentadas as precipitações máximas diárias anuais correspondentes ao posto escolhido:



Tabela 4: Precipitações Máximas Diárias Anuais.

Estação Pluviométrica Linha Cescon				
Código: 02753004				
Fonte: ANA				
Período: 1960 a 2022				
PRECIPITAÇÕES MÁXIMAS DIÁRIAS ANUAIS				
ANO	P (mm)	ANO	P (mm)	n = 63
1960	73,4	1992	63,7	$\bar{P} = 100,20$ $s = 24,48$
1961	81,3	1993	92,4	
1962	76,8	1994	103,8	
1963	100,2	1995	99,2	
1964	68,4	1996	88,2	
1965	107,4	1997	117,0	
1966	87,0	1998	76,0	
1967	108,0	1999	100,0	
1968	76,0	2000	75,4	
1969	90,4	2001	75,0	
1970	120,0	2002	85,2	
1971	62,0	2003	96,4	
1972	122,0	2004	94,8	
1973	112,4	2005	94,1	
1974	144,0	2006	88,4	
1975	83,2	2007	85,0	
1976	81,0	2008	74,8	
1977	156,2	2009	79,6	
1978	72,0	2010	122,8	
1979	129,2	2011	108,6	
1980	86,1	2012	98,0	
1981	70,1	2013	76,0	
1982	134,0	2014	101,8	
1983	95,2	2015	102,4	
1984	144,0	2016	135,0	
1985	143,0	2017	138,0	
1986	106,0	2018	90,2	
1987	98,1	2019	74,2	
1988	115,1	2020	102,0	
1989	132,8	2021	94,0	
1990	176,0	2022	124,0	
1991	105,3			

Fonte: Consultoria de Projetos.



Através da fórmula geral, supracitada, calculou-se, para cada tempo de recorrência definido, a máxima precipitação de um dia, que estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Máxima Precipitação de um dia.

TR	$\bar{P}$	s	K	Pn (mm) = P de 1 dia
5	100,20	24,48	0,807	119,96
10	100,20	24,48	1,446	135,60
20	100,20	24,48	2,059	150,61
25	100,20	24,48	2,253	155,36
50	100,20	24,48	2,852	170,02
100	100,20	24,48	3,526	186,52

Fonte: Consultoria de Projetos.

D.6. RELAÇÃO DE ALTURA - DURAÇÃO - RECORRÊNCIA

Na determinação das relações de Altura - Duração - Recorrência, respectiva do regime de precipitações intensas das chuvas de pequena duração, utilizou-se a metodologia exposta pelo Engº José Jaime Taborga Torrico no livro "Práticas Hidrológicas", o qual considera os postos pluviométricos utilizados pelo Engº Otto Pfafstetter, que construiu o mapa de Isozonas no Brasil, relacionando as alturas, de precipitação anual de uma hora com a máxima anual de 24 horas, para cada posto estudado no livro "Chuvas Intensas no Brasil" do Engº Pfafstetter.

Para correlacionar as precipitações na estação pluviométrica com as isozonas, determinou-se a relação 24 horas/1 dia, para o tempo base de um ano. No presente estudo, adotou-se:

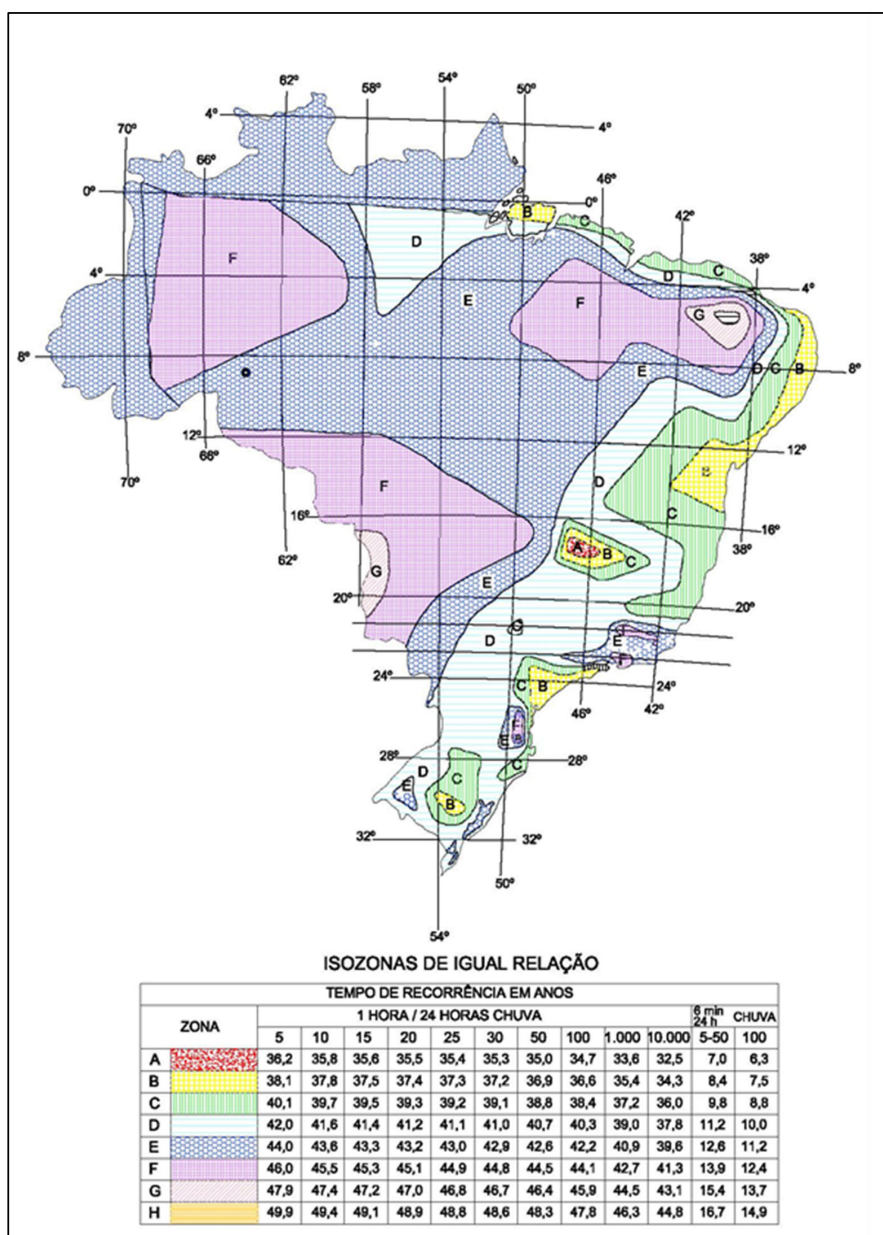
$$P_{24 \text{ h}}/P_{1 \text{ dia}} = 1,10$$

No mapa de isozonas (Figura 15), apresentado a seguir, identificam-se zonas de igual relação.

- 1 hora/24 horas de altura de precipitações para diferentes tempos de recorrências;
- 6 min/24 horas de altura de precipitação para 5 a 50 anos e 100 anos.



Figura 15: Mapa de Isozonas no Brasil.



Fonte: Taborga Torrico, Jaime – Práticas Hidrológicas (1974).



A rodovia em estudo, situa-se na zona C (Quadro 2), segundo o mapeamento. Apresenta-se, neste estudo os valores de “a” e “b” para a zona C.

Quadro 2: Tempo de Recorrência em anos – Isozona C.

TEMPO DE RECORRÊNCIA EM ANOS - ISOZONA C							
a = 1 hora/24 horas						b = 6 min/24 horas	
5	10	20	25	50	100	5 - 50	100
0,401	0,397	0,393	0,392	0,388	0,384	0,098	0,088

Fonte: Taborga Torrico, Jaime – Práticas Hidrológicas (1974).

Assim, recorrendo-se aos coeficientes de Gumbel (ver Tabela 6: Fatores de Frequência de Gumbel), aos dados das máximas precipitações de um dia para os tempos de recorrência específicos e aos valores de “a” e “b” segundo ao mapeamento na isozona C, obteve-se a conversão das máximas chuvas diárias.



Tabela 6: Fatores de Frequência de Gumbel.

NÚMERO DE EVENTOS	Tr - Tempo de Recorrência						
	5	10	15	20	25	50	100
10	1,058	1,848	2,289	2,606	2,847	3,588	4,325
11	1,034	1,809	2,242	2,553	2,789	3,516	4,238
12	1,013	1,777	2,202	2,509	2,741	3,476	4,166
13	0,996	1,748	2,168	2,470	2,699	3,405	4,105
14	0,981	1,724	2,138	2,437	2,663	3,360	4,052
15	0,967	1,703	2,112	2,410	2,632	3,321	4,005
16	0,955	1,682	2,087	2,379	2,601	3,283	3,959
17	0,943	1,664	2,066	2,355	2,575	3,250	3,921
18	0,934	1,649	2,047	2,335	2,552	3,223	3,888
19	0,926	1,636	2,032	2,317	2,533	3,199	3,860
20	0,919	1,625	2,018	2,302	2,517	3,179	3,836
21	0,911	1,613	2,004	2,286	2,500	3,157	3,810
22	0,905	1,603	1,992	2,272	2,484	3,138	3,787
23	0,899	1,595	1,980	2,259	2,470	3,121	3,766
24	0,893	1,584	1,969	2,247	2,457	3,104	3,747
25	0,888	1,575	1,958	2,235	2,444	3,088	3,729
26	0,883	1,568	1,949	2,224	2,432	3,074	3,711
27	0,879	1,560	1,941	2,215	2,422	3,061	3,696
28	0,874	1,553	1,932	2,205	2,412	3,048	3,681
29	0,870	1,547	1,924	2,196	2,402	3,037	3,667
30	0,866	1,541	1,912	2,188	2,393	3,026	3,653
31	0,863	1,535	1,910	2,180	2,385	3,015	3,641
32	0,860	1,530	1,904	2,173	2,377	3,005	3,629
33	0,856	1,525	1,897	2,166	2,369	2,966	3,618
34	0,855	1,520	1,892	2,160	2,362	2,987	3,608
35	0,851	1,516	1,886	2,152	2,354	2,977	3,598
36	0,848	1,511	1,881	2,147	2,349	2,971	3,588
37	0,845	1,507	1,876	2,142	2,344	2,963	3,579
38	0,843	1,503	1,871	2,137	2,338	2,957	3,571
39	0,840	1,499	1,867	2,131	2,331	2,950	3,563
40	0,838	1,495	1,862	2,126	2,326	2,943	3,554
41	0,836	1,492	1,858	2,121	2,321	2,936	3,547
42	0,834	1,489	1,854	2,117	2,316	2,930	3,539
43	0,832	1,485	1,850	2,112	2,311	2,924	3,532
44	0,830	1,482	1,846	2,108	2,307	2,919	3,526
45	0,828	1,478	1,824	2,104	2,303	2,913	3,519
46	0,826	1,476	1,839	2,100	2,298	2,908	3,513
47	0,824	1,474	1,836	2,096	2,294	2,903	3,507
48	0,823	1,471	1,832	2,093	2,290	2,898	3,501
49	0,821	1,469	1,830	2,090	2,287	2,894	3,499
50	0,820	1,466	1,827	2,086	2,283	2,889	3,496
51	0,818	1,464	1,824	2,084	2,280	2,883	3,486
52	0,817	1,462	1,821	2,080	2,276	2,881	3,481
53	0,815	1,459	1,818	2,077	2,273	2,875	3,474
54	0,814	1,457	1,816	2,074	2,270	2,870	3,471
55	0,813	1,455	1,813	2,071	2,267	2,869	3,467
56	0,812	1,453	1,811	2,069	2,264	2,865	3,462
57	0,810	1,451	1,809	2,066	2,261	2,862	3,458
58	0,809	1,449	1,804	2,064	2,258	2,858	3,454
59	0,808	1,448	1,803	2,061	2,256	2,855	3,450
60	0,807	1,446	1,802	2,059	2,253	2,852	3,446

Fonte: Consultoria de Projetos.



Na Tabela 7 estão apresentadas as alturas das precipitações (mm), quais sejam:

Tabela 7: Altura das Precipitações.

ALTURA DAS PRECIPITAÇÕES							
TR	P	F _{24HORAS}	P _{24HORAS}	F _{1HORA}	P _{1HORA}	F _{6MIN}	P _{6MIN}
5	119,96	1,10	131,95	0,401	52,91	0,098	12,93
10	135,60	1,10	149,16	0,397	59,22	0,098	14,62
20	150,61	1,10	165,67	0,393	65,11	0,098	16,24
25	155,36	1,10	170,89	0,392	66,99	0,098	16,75
50	170,02	1,10	187,03	0,388	72,57	0,098	18,15
100	186,52	1,10	205,18	0,384	78,79	0,088	18,06

Fonte: Consultoria de Projetos.

Foi determinada as equações de chuva, através de ajuste matemático, para dois intervalos de tempo de concentração. Calculou-se a precipitação para um tempo de concentração entre 0,1 h e 1 h através de:

$$P = [(P_{1h} - P_{0,1h}) \cdot \log TC] + P_{1h}$$

Calculou-se a precipitação para um tempo de concentração entre 1 h e 24 h através de:

$$P = \frac{[(P_{24h} - P_{1h}) \cdot \log TC]}{\log 24} + P_{1h}$$

Na Tabela 8, a seguir, estão apresentadas as equações de precipitação para os tempos de recorrência de 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Tabela 8: Equações de Precipitação para os Tempos de Recorrência de 5 a 100 anos.

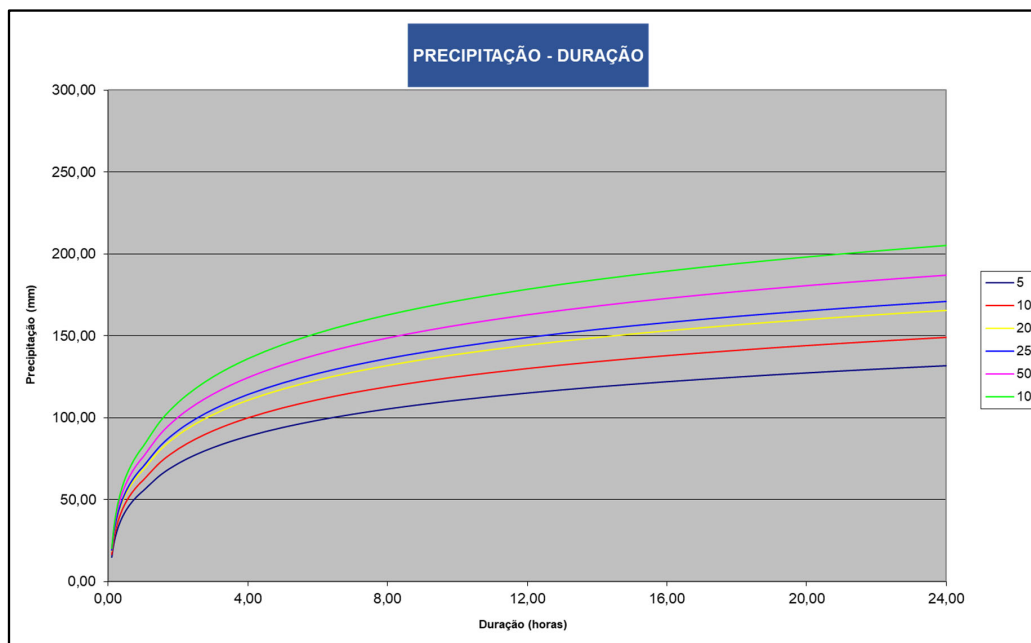
TR	tc	P
5	0,1<T<1	39,98 × log (tc) + 52,91
	1<T<24	57,27 × log (tc) + 52,91
10	0,1<T<1	44,60 × log (tc) + 59,22
	1<T<24	65,17 × log (tc) + 59,22
20	0,1<T<1	48,87 × log (tc) + 65,11
	1<T<24	72,86 × log (tc) + 65,11
25	0,1<T<1	50,24 × log (tc) + 66,99
	1<T<24	75,28 × log (tc) + 66,99
50	0,1<T<1	54,42 × log (tc) + 72,57
	1<T<24	82,93 × log (tc) + 72,57
100	0,1<T<1	60,73 × log (tc) + 78,79
	1<T<24	91,57 × log (tc) + 78,79

Fonte: Consultoria de Projetos.



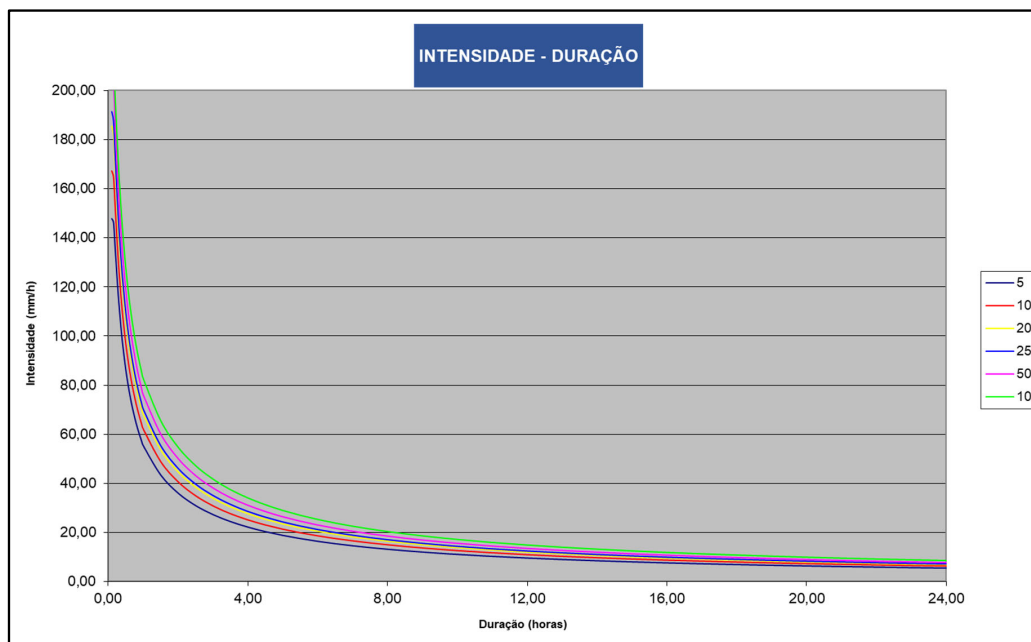
Abaixo são apresentados: precipitação - duração (Gráfico 1); intensidade - duração (Gráfico 2).

Gráfico 1: Precipitação - Duração.



Fonte: Consultoria de Projetos.

Gráfico 2: Intensidade - Duração.



Fonte: Consultoria de Projetos.



Para o método racional, a intensidade máxima de precipitação foi calculada para uma duração igual ao tempo de concentração da bacia (considerando-se o mínimo de 15 minutos), tomando-se a equação da chuva em função do tempo de concentração calculado para cada bacia.

D.7. BACIAS HIDROGRÁFICAS

D.7.1. Características Topométricas

Todas as bacias hidrográficas interceptadas pela rodovia, tiveram seus parâmetros topométricos aferidos nas cartas topográficas em escala 1:50.000. Foram consideradas como bacias de área mínima aquelas com área de até 4,5 ha, cuja obra necessária é um bueiro simples de diâmetro de 80 cm. No cálculo da bacia de área mínima considerou-se a vazão do bueiro simples de 80 cm igual a 0,88 m³/s, coeficiente de escoamento igual 0,50 e intensidade de precipitação para 10 anos calculada para um tempo de concentração de 15 min resultando 138,98 mm/h.

De cada bacia foram determinados:

- Área superficial em km²;
- Extensão da linha de talvegue;
- Desnível total da linha de talvegue;
- Caracterização dos tipos de cobertura e uso do solo na bacia permitindo ponderar o coeficiente de escoamento superficial adequado.

D.8. TEMPO DE RECORRÊNCIA HIDROLÓGICO (TR)

Foram estabelecidos os tempos de recorrência conforme valores adotados para verificação e dimensionamento de OAC e OAE em rodovias.

- Drenagem superficial: 5 anos;
- Transposição de talvegues: bueiros tubulares 10 anos, bueiros celulares 20 anos;
- Pontes: 100 anos.



D.9. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO

O tempo de concentração das bacias hidrográficas foi calculado de acordo com a fórmula:

$$t_c = \frac{10 \cdot A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{K \cdot S^{0,4}}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração (min);

A = área da bacia (ha);

L = comprimento do talvegue (m);

k = coeficiente em função do tipo de terreno, (ver Tabela 9, apresentada a seguir);

S = declividade longitudinal média (%).

Tabela 9: Coeficiente em Função do tipo de terreno.

CARACTERÍSTICAS DA ÁREA DA BACIA	k
Terreno areno-argiloso coberto de vegetação intensa e elevada absorção	2,0
Terreno comum, coberto com vegetação e absorção apreciável	3,0
Terreno, coberto de vegetação, absorção média	4,0
Terreno com vegetação média, pouca absorção	4,5
Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção	5,0
Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção	5,5

Fonte: DNIT – Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem (2005).

Sendo o manto de solo existente um solo impermeável, e considerando o terreno com vegetação média, o “k” adotado é igual a 4,5.

Quando o tempo de concentração calculado para as obras de arte correntes for menor que ¼ de hora (15 min), então o tempo de concentração adotado será mínimo, igual a ¼ de hora. Para a drenagem superficial foi adotado o tempo de concentração mínimo de 8 min.

D.10. FIXAÇÃO DA ALTURA DE CHUVA

A situação mais desfavorável é aquela que o tempo de duração da chuva é igual ao tempo de concentração da bacia e a intensidade proporcional à duração de chuva.

O tempo de concentração varia para cada bacia, devido as diferentes formas e declividades, consequentemente poderá haver um valor diferente de altura de chuva de projeto para cada bacia.



D.11. CÁLCULO DAS DESCARGAS DAS BACIAS

D.11.1. Bacias com Áreas Inferiores a 10 km²

Para o cálculo das vazões de projeto, com áreas de bacia inferiores a 10 km², utilizou-se o "Método Racional", sendo a fórmula:

$$Q = \frac{2,78 \cdot c \cdot h \cdot A}{t_c}$$

Onde:

Q = vazão em m³/s;

c = coeficiente de escoamento / *run-off* (ver Tabela 10, mostrada abaixo);

h = altura da chuva (cm);

A = Área da bacia (km²);

t_c = tempo de concentração (h).

Tabela 10: Coeficiente de Escoamento Superficial / Run-Off.

VALORES DO COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	
CARACTERÍSTICAS DA BACIA	C (%)
Superfície impermeável	90 - 95
Terreno estéril montanhoso	80 - 90
Terreno estéril ondulado	60 - 80
Terreno estéril plano	50 - 70
Prados, campinas, terreno ondulado	40 - 65
Matas decíduas, folhagem caduca	35 - 60
Matas coníferas, folhagem permanente	25 - 50
Pomares	15 - 40
Terrenos cultivados - zonas altas	10 - 40
Terrenos cultivados - vales	10 - 30

Fonte: Colorado Highway Department.

Como a região em estudo apresenta vegetação com evidências de cultivo considerou-se 0,50 para o valor do coeficiente de escoamento superficial.

D.11.2. Bacias com Áreas Superiores a 10 km² e inferiores a 2500 km²

Todas as bacias hidrográficas estudadas apresentam áreas muito menores do que 10 km².



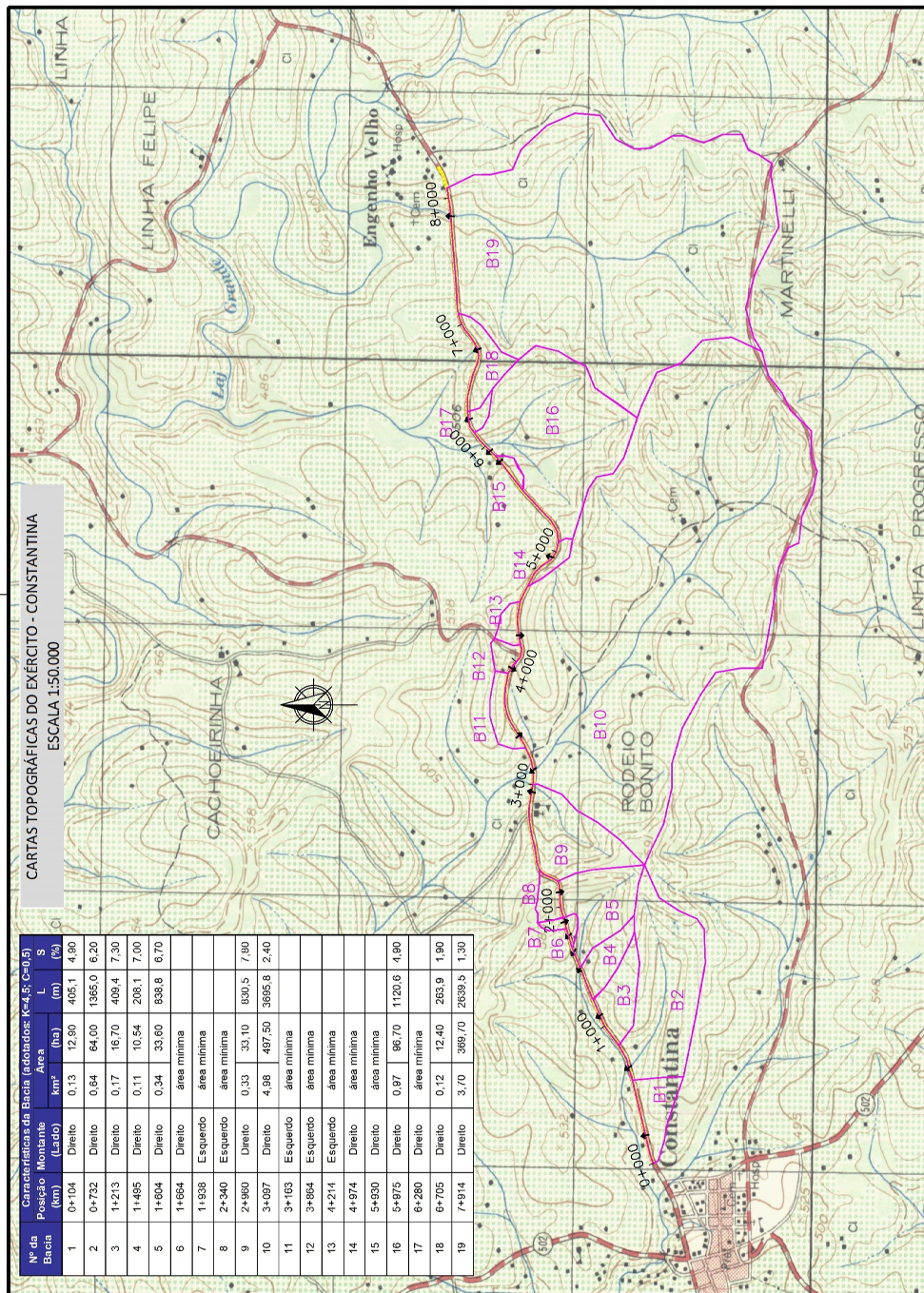
D.11.3. Apresentação dos Cálculos das Descargas das Bacias

Nas páginas seguintes são apresentados:

- o mapa das bacias hidrográficas (ver Figura 16);
- o cadastro de bueiros existentes (ver Tabela 11), onde nota-se que alguns destes foram executados conforme previsto no projeto original;
- os resultados obtidos para as descargas das bacias hidrográficas (ver Tabela 12).



Figura 16: Mapa das Bacias Hidrográficas.



Fonte: Consultoria de Projetos.



Tabela 11: Cadastro dos Bueiros Existentes.

POSICÃO (km)	TIPO	DIMENSÃO (m)	L (m)	VERIFICAÇÃO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO			ANÁLISE EXPEDITA		SOLUÇÕES						OBSERVAÇÃO				
				AVALIAÇÃO															
				MONT LE	LADO		1	2	3	4	5	A	B	C		D	E	F	
0+014	01 Linha de Tubos	0,40	24,15	LD	-	CAIXA	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes.
0+104	BDTC	1,00	11,95	LD	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x	x	x		Será necessário remover boca LE, aumentar o corpo do bueiro existente, executar nova boca LE e DEB-08 no LE.
0+732	BDTC	1,20	17,27	LD	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x		x		Remover bueiro existente. Executar bueiro projetado.
1+213	01 Linha Bueiro de alvenaria	2,00x1,35	14,70	LD	-	-	Corpo parcialmente entupidos.			x						x			Não foi possível a comprovação da eficácia da estrutura existente.
1+495	01 Linha de Tubos	0,40	10,48	LD	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover bueiro em alvenaria de tijolos. Executar bueiro projetado.
1+604	BSTC	0,80	10,88	LD	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x		x		Remover o bueiro e bocas existentes. Executar bueiro projetado.
1+664	BSTC	1,00	13,59	LD	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x	x	x		Será necessário remover as bocas, aumentar o corpo do bueiro existente, executar novas bocas, vala de entrada e de saída e DEB-05 no LE.
1+938	BSTC	0,80	11,18	LE	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x		x		Devido a nova geometria da via, deve ser removido o bueiro existente. Executar novo bueiro e demais dispositivos.
3+097	01 Linha Bueiro celular em concreto	3,50x2,50	11,30	LD	-	-	Bueiro parcialmente danificado.			x					x		x		Não foi possível a comprovação da eficácia da estrutura existente, logo deve-se remover o bueiro existente. Executar bueiro projetado.
3+163	01 Linhas de Tubos	0,60	8,32	LE	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
3+864	BSTC	0,80	12,11	LE	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x				Será necessário remover a boca LE, aumentar o corpo do bueiro existente, executar nova boca, descida d'água em degraus, dissipador
4+214	01 Linha de Tubos	0,60	11,80	LE	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
4+974	BSTC	0,80	11,62	LD	BOCA	BOCA	Bocas e corpo parcialmente entupidos.			x					x		x		Devido a nova geometria da via, deve ser removido o bueiro existente. Executar novo bueiro e demais dispositivos.
5+830	01 Linha de Tubos	1,00	16,24	LD	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
5+975	01 Linha de Tubos	1,00	16,00	LD	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
5+977	01 Linha de Tubos	0,30	14,41	LD	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado no km 5+975.
6+280	01 Linha de Tubos	0,60	13,90	LD	-	-	Existe 01 linha de tubos assentados sobre o fundo da vala. Remover tubos existentes.			x					x				Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
6+705	BSTC	1,00	11,67	LD	BOCA	BOCA	Bocas parcialmente entupidos. Boca LE danificada.			x							x		Remover os tubos existentes. Executar bueiro projetado.
7+914	Galeria	2,50x2,50	18,27	LD	BOCA	BOCA	Existe árvore junto a boca do LE, que deve ser cortada.			x							x		Não foi possível a comprovação da eficácia da estrutura existente, logo deve-se remover o bueiro existente. Executar bueiro projetado.

SOLUÇÕES

ANÁLISE EXPEDITA

1 - SUFICIENTE

2 - INSUFICIENTE

3 - BUEIRO ENTERRADO

4 - BUEIRO ELEVADO

5 - EROSAO ACENTUADA

SOLUÇÕES

A - CONSTRUIR BUEIRO NOVO

B - AMPLIAR BUEIRO

C - DISSIPAR VELOCIDADE A JUSANTE

D - CONSTRUIR BOCA

E - CANALIZAR CURSO D'ÁGUA

F - ENFOCAMENTO NO PÉ DO ATERRIO

SOLUÇÕES
ANÁLISE EXPEDITA
 1 - SUFICIENTE
 2 - INSUFICIENTE
 3 - BUEIRO ENTERRADO
 4 - BUEIRO ELEVADO
 5 - EROSAO ACENTUADA
SOLUÇÕES
 A - CONSTRUIR BUEIRO NOVO
 B - AMPLIAR BUEIRO
 C - DISSIPAR VELOCIDADE A JUSANTE
 D - CONSTRUIR BOCA
 E - CANALIZAR CURSO D'ÁGUA
 F - ENROCAMENTO NO PÉ DO ATERRIO

Fonte: Consultoria de Projetos.



Tabela 12: Quadro de Dimensionamento das Bacias pelo Método Racional.

Nº da Bacia	Características da Bacia (adotados: K=4,5; C=0,5)				Chuva			Vazão de Contrib. (m³/s)			Obra de Projeto		Obs.:			
	Posição (km)	Montante (Lado)	Área km²	Área (ha)	L (m)	S (%)	tc (h)	H (cm)	10	20	100	Tipo		Nota		
1	0+104	Direito	0,13	12,90	405,1	4,90	15,00	0,25	3,24	3,57	2,32	2,56	BDTC	1,00	Racional	Será necessário remover boca LE, aumentar o corpo do bueiro existente, executar nova boca LE e dissipador no LE.
2	0+732	Direito	0,64	64,00	1365,0	6,20	15,00	0,25	3,24	3,57	11,52	12,70	BSCC	2,50/2,50	Racional	Remover bueiro existente. Executar bueiro projetado.
3	1+213	Direito	0,17	16,70	409,4	7,30	15,00	0,25	3,24	3,57	3,01	3,31	BDTC	1,20	Racional	Não foi possível a comprovação da eficácia da estrutura existente. Remover bueiro em alvenaria de tijolos. Executar bueiro projetado.
4	1+495	Direito	0,11	29,10	208,1	7,00	15,00	0,25	3,24	3,57	1,98	2,18	BSTC	1,20	Racional	Executar bueiro projetado.
5	1+604	Direito	0,34	34,00	838,8	6,70	15,00	0,25	3,24	3,57	6,05	6,67	BDTC	1,50	Racional	Executar bueiro projetado.
6	1+664	Direito	área mínima										BSTC	1,00	Racional	Será necessário remover as bocas, aumentar o corpo do bueiro existente, executar novas bocas, veda de entrada e de saída e dissipador no LE.
7	1+938	Esquerdo	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Devido a nova geometria da via, deve ser removido o bueiro existente. Executar novo bueiro e demais dispositivos.
8	2+340	Esquerdo	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Executar bueiro projetado.
9	2+960	Direito	0,33	33,10	830,5	7,80	15,00	0,25	3,24	3,57	5,96	6,57	BDTC	1,50	Racional	Executar bueiro projetado.
10	3+097	Direito	4,98	497,50	3665,8	2,40	52,15	0,87	5,65	6,22	44,93	49,40	BTCC	2,50/2,50	Racional	Executar bueiro projetado.
11	3+163	Esquerdo	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Executar bueiro projetado.
12	3+864	Esquerdo	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Será necessário remover a boca LE, aumentar o corpo do bueiro existente, executar nova boca, desobstruir água em degraus, dissipador e caixa.
13	4+214	Esquerdo	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Executar bueiro projetado.
14	4+974	Direito	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Devido a nova geometria da via, deve ser removido o bueiro existente. Executar novo bueiro e demais dispositivos.
15	5+930	Direito	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Executar bueiro projetado.
16	5+975	Direito	0,97	96,70	1120,6	4,90	18,88	0,31	3,65	4,03	15,84	17,45	BSCC	2,50/2,50	Racional	Remover linhas de tubos existentes. Executar bueiro projetado.
17	6+280	Direito	área mínima										BSTC	0,80	Racional	Remover tubos existentes. Executar bueiro projetado.
18	6+705	Direito	0,12	12,40	263,9	1,90	15,00	0,25	3,24	3,57	2,23	2,46	BSTC	1,20	Racional	Remover bueiro existente. Executar bueiro projetado.
19	7+914	Direito	3,70	369,70	2639,5	1,30	57,00	0,95	5,82	6,40	31,50	34,63	BCCC	3,00/3,00	Racional	Executar bueiro projetado.

Fonte: Consultoria de Projetos.



D.12. VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA DAS OBRAS DE ARTE CORRENTES

Na Tabela 13, apresentada na página posterior, é apresentada a verificação hidráulica daqueles bueiros existentes que seriam passíveis de serem mantidos, ou seja, aqui não estão considerados tubos assentados sem berços, bueiros com diâmetro inferior a 0,80 m ou bueiros que a geometria da via projetada não permitia seu aproveitamento, porque de antemão já se sabe a necessidade de suas remoções.

Assim, foram verificados os bueiros das bacias 1, 6 e 12, respectivamente, km 0+104, km 1+664 e km 3+864. Desses, foi observado o seguinte:

- A carga hidráulica, a contar do centro de gravidade da seção do bueiro, não seja maior do que duas vezes o diâmetro ou a sua altura.
- A velocidade máxima para a obra deverá ser inferior ao limite de erosão das paredes dos bueiros.
- O nível d'água a montante não poderá ultrapassar a cota de nível mínimo admissível fixada em função da altura do aterro e das restrições de alagamento a montante por ventura existentes.



26043500009398



Tabela 13: Quadro de Verificação Hidráulica.

ID	LOCAL (km)	TIPO	CON ou ME	N	DIM. (m)	B (m)	BACIA DE CONTRIB. (km²)	Q _{TRIN} (m³/s)	Q _{TRIN} (m³/s)	C. EIXO RODO. (m)	C. FUNDO MONT. (m)	C. FUNDO JUS. (m)	L (m)	I (%)	n	FUNC.	Q _{PROJ.} (m³/s)	y _h (m)	H _{OWER} (m)	H _{MAX} (m)	NA MONT. (m)	A (m²)	Froude	V (m/s)	Verificações			OBSERVAÇÃO
																									R ₀ < R _{lim}	G _{lim} < G _{OK}	V < V _{OK}	
BUE01	0+104	BDTC	CON	2	1,00	0,00	BH01	2,32	2,56	451,70	450,05	449,52	15,4	3,47	0,015	Canal	1,16	0,38	-	1,45	450,43	0,27	2,24	4,31	OK	OK	OK	Manter.
BUE06	1+664	BSTC	CON	1	1,00	0,00	BH06	0,61	0,69	485,25	481,33	480,86	21,0	2,14	0,015	Canal	0,81	0,35	-	2,00	481,68	0,25	1,76	3,28	OK	OK	OK	Manter.
BUE12	3+864	BSTC	CON	1	0,80	0,00	BH18	2,23	2,46	508,97	506,87	506,25	15,3	4,08	0,015	Canal	2,23	0,63	-	1,60	507,50	0,43	2,11	5,25	OK	OK	N OK	Manter. Velocidade Calculada Acima da Admissível.*

Fonte: Consultoria de Projetos.