



**MEMORIAL DE CÁLCULO DE DRENAGEM PLUVIAL
OBRAS DE DRENAGEM DA RUA FRANCISCA RICARDINA
DE PAULA**

DEZEMBRO DE 2021

Referências Cadastrais

Cliente: Prefeitura Municipal de Pouso Alegre

Localização: Pouso Alegre, MG.

Título: Obras de Drenagem da Rua Francisca
Ricardina de Paula

Contato: Rinaldo Lima Oliveira

E-mail: rinaldololiveira@gmail.com

Líder do Projeto: Flávia Cristina Barbosa

Coordenador: Aloísio Caetano Ferreira

Projeto/centro de custo: ATA 194/2020

Data do documento: 09/12/2021

Elaborador/Autor	Flávia Cristina Barbosa	Engenheira Civil
Verificador/aprovador	Aloísio Caetano Ferreira	Coordenador de Projeto

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Equipe Técnica

Responsável Técnico – Coordenação

Aloísio Caetano Ferreira Engenheiro Hídrico	
Nº CREA: MG-97.132 /D	Nº ART:

Responsável Técnico – Projeto Civil

Flávia Cristina Barbosa Engenheira Civil	
Nº CREA: MG-187.842 /D	Nº ART:

Responsável Técnico – Projeto Hídrico

Denis de Souza Silva Engenheiro Hídrico	
Nº CREA: MG 127.216 /D	Nº ART:

Equipe

TOPOGRAFIA	Jonas Guerreiro Gonçalves	Eng. Civil - Coordenação
	Anselmo Rafael Wasen	Técnico de Topografia
	Renan Henrique da Costa Santos	Assistente de Topografia
	Tiago Coli Cortes	Assistente de Topografia
	Gabriel Pereira	Auxiliar Eng. Civil
	Facon	Auxiliar Eng. Civil

DRENAGEM	Igor Paiva Lopes	Eng. Hídrico - Coordenação
	Marcela Cabral	Auxiliar de Drenagem
	Thallis Eduardo Cabral	Auxiliar de Drenagem
	Janaína Franco Costa	Auxiliar de Drenagem
	Bianca Baruk	Orçamentista

MEIO AMBIENTE	Reinaldo	Biólogo
	Luis Antônio	Engenheiro Ambiental
	Giulia Camerini	Auxiliar de Biologia

INFRAESTRUTURA	Felipe Guimarães Alexandre	Eng. Civil - Coordenação
	Abraão Ramos	Engenheiro Civil
	Gabriel Gomes	Auxiliar de Sinalização
	Érica de Souza	Auxiliar de Terraplenagem
	Letícia Bernardo	Auxiliar de Redes Hidráulicas
	Laura Souza	Auxiliar de Redes Hidráulicas

GESTÃO	Aloisio Caetano Ferreira	Diretor Comercial e Técnico
	Denis de Souza Silva	Diretor Comercial e Técnico
	Flávia Cristina Barbosa	Gerente de Projetos
	Pedro Henrique Justiniano	Subgerente de Projetos

SUMÁRIO

1.	ESTUDOS HIDROLÓGICOS	6
1.1.	METODOLOGIA APLICADA	6
1.2.	MÉTODO RACIONAL.....	6
1.2.1.	COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL	7
1.2.2.	TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO	8
1.2.3.	INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO.....	9
1.2.4.	VAZÃO	10
2.	PROJETO DE DRENAGEM.....	10
2.1.	VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DA SARJETA	10
2.2.	BOCAS DE LOBO	13
2.3.	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DAS GALERIAS	13
2.3.1.	POSICIONAMENTO	13
2.3.2.	DIÂMETRO MÍNIMO.....	14
2.3.3.	CÁLCULO DA VAZÃO NA GALERIA	14
2.3.4.	VELOCIDADE DE ESCOAMENTO	14
2.3.5.	CAPACIDADE MÁXIMA DA GALERIA.....	16
2.3.6.	RECOBRIMENTO MÍNIMO DA GALERIA	17
2.3.7.	DESCARTE.....	17
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	18

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Método Racional	7
Equação 2 - Equação de Chuva Intensa	9
Equação 3 - Equação Izzard/Manning	11
Equação 4 – Velocidade	14
Equação 5 - Raio hidráulico	15
Equação 6 - Vazão	16

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sarjeta tipo B	11
Figura 2 - Características hidráulicas da sarjeta	12
Figura 3 - Detalhes hidráulicos da sarjeta	12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial	8
Tabela 2 - Valores do coeficiente de rugosidade para diferentes materiais de revestimento ..	16

1. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Os estudos hidrológicos irão determinar as descargas máximas nas áreas em estudo, a fim de dar base ao dimensionamento das estruturas hidráulicas do sistema de drenagem em questão. Para isso, é necessário o diagnóstico do regime pluvial e da natureza das precipitações intensas da região, como é apresentado a seguir.

1.1. METODOLOGIA APLICADA

Para a determinação da precipitação máxima utilizou-se a equação que correlaciona os parâmetros intensidade, duração e frequência de chuvas. Essa relação permite ainda a obtenção de precipitações máximas para diferentes Tempos de Concentração – t_c , e Períodos de Retorno – TR. Nas estimativas de vazões a partir de dados de chuva a grandeza utilizada é a Precipitação Excedente, pelo fato de esta contribuir efetivamente para a formação do escoamento superficial.

As vazões de projeto podem ser estimadas por meio de métodos estatísticos diretos e indiretos. Estas metodologias são determinadas de acordo com as dimensões das áreas de drenagem, da seguinte forma:

- Sub-bacias com áreas de até 5 km²: utiliza-se o Método Racional;
- Sub-bacias com áreas entre 5 km² e 10 km²: utiliza-se o Método Racional Corrigido;
- Sub-bacias com área acima de 10 km²: utiliza-se o Método de Ven Te Chow.

Desta forma, como a bacia do projeto possui uma área menor que 5 km², utilizou-se o método racional.

1.2. MÉTODO RACIONAL

O método mais utilizado para o cálculo da vazão a partir da transformação de chuva em vazão para análise em pequenas bacias hidrográficas é o método racional,

devido à simplicidade de aplicação e facilidade do conhecimento e controle dos parâmetros necessários.

Admite-se, na sua aplicação, que a chuva apresente uma intensidade constante, uniformemente distribuída sobre a superfície da bacia, e que sua duração seja maior ou igual ao tempo de concentração na bacia. Como a intensidade de chuva decresce com o aumento da duração, a descarga máxima resulta de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Este método, descrito matematicamente pela Equação 1, representa uma relação entre a vazão máxima de escoamento superficial e a intensidade de precipitação, dependendo das seguintes variáveis para a sua determinação: tipo de solo e uso da terra, duração e intensidade da chuva e características físicas da rede de drenagem existente.

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot i \cdot A$$

Equação 1 - Método Racional

Onde:

- Q: Vazão de projeto (m³/s);
- C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);
- i: Intensidade da chuva de projeto (mm/h);
- A: Área de drenagem (ha).

1.2.1. COEFICIENTE DE ESCOAMENTO SUPERFICIAL

O coeficiente de escoamento superficial também é denominado de deflúvio superficial ou coeficiente de “runoff”. É variável determinada em função de uma série de fatores, como o tipo do solo, ocupação da bacia, umidade antecedente, intensidade da chuva e outros. Assim, devido às diversas condições e combinações dos fatores citados, apenas parte do volume precipitado sobre a bacia atinge a seção sob a forma de escoamento superficial. Portanto, adotou-se um coeficiente de escoamento superficial de 0,75, para a área urbanizada, 0,50 para área de aterro, e 0,30 para a área que contém pastagem, conforme valores indicados na Tabela 1.

Tabela 1 - Coeficiente de Escoamento Superficial

DESCRIÇÃO DAS ÁREAS DAS BACIAS TRIBUTÁRIAS	COEFICIENTE DE DEFLÚVIO "C"
Ruas	
Asfalto	0,70 a 0,95
Concreto	0,80 a 0,95
Gramados; solos arenosos	
Plano, 2%	0,05 a 0,10
Médio 2 a 7%	0,10 a 0,15
Íngreme, 7%	0,15 a 0,20
Gramados; solo compacto	
Plano, 2%	0,13 a 0,17
Médio 2 a 7%	0,18 a 0,22
Íngreme, 7%	0,15 a 0,35

Fonte: Tucci (2009)

1.2.2. TEMPO DE CONCENTRAÇÃO E PERÍODO DE RETORNO

O tempo de concentração é considerado o período, em minutos, que uma gota de água de chuva cai no ponto mais distante da bacia, demora a chegar até a seção de análise. Devido às características das curvas de intensidade, duração e frequência da chuva, o tempo de concentração inicial mínimo adotado para as bacias é de 10 minutos, sendo este mais crítico.

O tempo de retorno ou período de retorno de uma chuva representa o risco que o empreendimento ou projeto está assumindo no dimensionamento de uma obra hidráulica. Ou seja, qual é o grau de segurança que se deseja proporcionar ao empreendimento, sendo que ele é o inverso da frequência com que a chuva ou vazão venha a ser igualada ou ultrapassada num ano qualquer.

Para escolher qual o tempo de retorno que irá utilizar no dimensionamento do projeto hidráulico é importante analisar os prejuízos tangíveis e intangíveis que possam a vir a ser causados por eventos extremos de chuva. Portanto, para o empreendimento em questão foi adotado o período de retorno (TR) igual a 10 anos.

1.2.3. INTENSIDADE DE PRECIPITAÇÃO

As equações de intensidade, duração e frequência ou simplesmente as equações IDF, também conhecidas como equação de chuva, são usadas para determinar a intensidade máxima de chuva de um determinado local.

Para cada região, os parâmetros K, a, b e c da equação de intensidade, duração e frequência (Equação 2) são ajustados por meio de regressão linear e não linear. Estes parâmetros (K, a, b e c) são definidos por uma série histórica de dados de chuvas, de mais ou menos 30 anos. Além disso, alterando a frequência e o tempo de concentração é possível obter uma intensidade diferente de chuva para uma mesma região.

$$I_m = \frac{K \cdot (TR)^a}{(tc + b)^c}$$

Equação 2 - Equação de Chuva Intensa

Onde:

- I_m - Intensidade máxima média de precipitação (mm/h);
- TR - Tempo de Retorno (anos);
- tc - Tempo de concentração (min);
- K, a, b e c - Parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos da localidade.

No empreendimento em questão, foi utilizada equação de chuva do município de Pouso Alegre - MG gerada pela interpolação de dados do software Plúvio 2.1. Assim, obteve-se a seguinte Intensidade máxima média de precipitação:

Os parâmetros da equação para esta localidade são:

- K= 667,338
- a= 0,184
- b= 20,869
- c= 0,635

$$I_m = \frac{667,338 \cdot (10)^{0,184}}{(10 + 20,869)^{0,635}} = 115,478 \text{ mm/h}$$

1.2.4. VAZÃO

A vazão calculada sintetiza as considerações e cálculos realizados em relação ao tempo de concentração do escoamento e à intensidade de chuva, ao coeficiente de escoamento superficial e a área de contribuição de cada sub-bacia do projeto.

2. PROJETO DE DRENAGEM

O projeto de drenagem tem como objetivo definir os dispositivos de coleta, condução e deságue das águas superficiais que precipitam sobre o terreno, bem como sobre os taludes e áreas que convergem ao mesmo.

2.1. VERIFICAÇÃO DA CAPACIDADE DE ESCOAMENTO DA SARJETA

Para assegurar o bom funcionamento do escoamento superficial, as guias e sarjetas das vias públicas serão limitadas por uma lâmina d'água de largura máxima de 1,67 metros e a sarjeta adotada será do tipo B, conforme Figura 1.

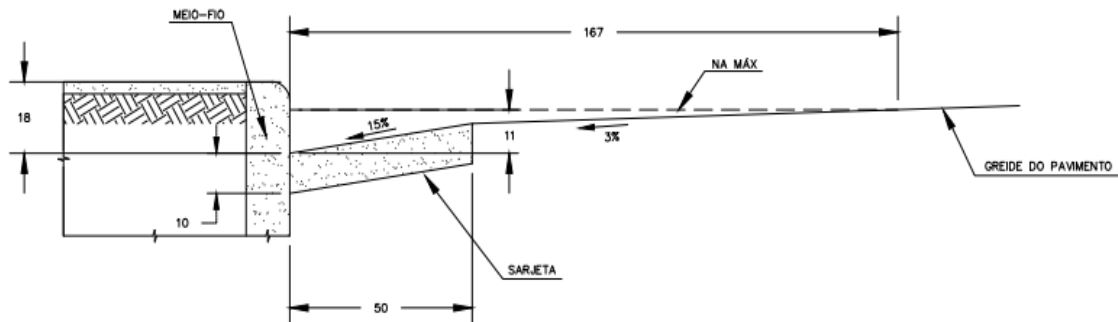


Figura 1 - Sarjeta tipo B

Fonte: SUDECAP (2020)

Sua vazão pode ser calculada pelo método de Izzard/Manning, conforme a equação a seguir:

$$Q = 0,375 \frac{Z}{n} * y^{\frac{8}{3}} * \sqrt{i}$$

Equação 3 - Equação Izzard/Manning

Onde:

- Q - vazão (m³/s);
- Z - inverso da declividade transversal;
- i - declividade longitudinal (m/m);
- y - profundidade junto à linha de fundo (m);
- n - coeficiente de rugosidade.

Considerando as características hidráulicas da sarjeta (Figura 2), a vazão pode ser calculada pela soma algébrica em cada uma das seções triangulares (seção da sarjeta mais seção da via, descontando sua interseção), conforme a Figura 3.

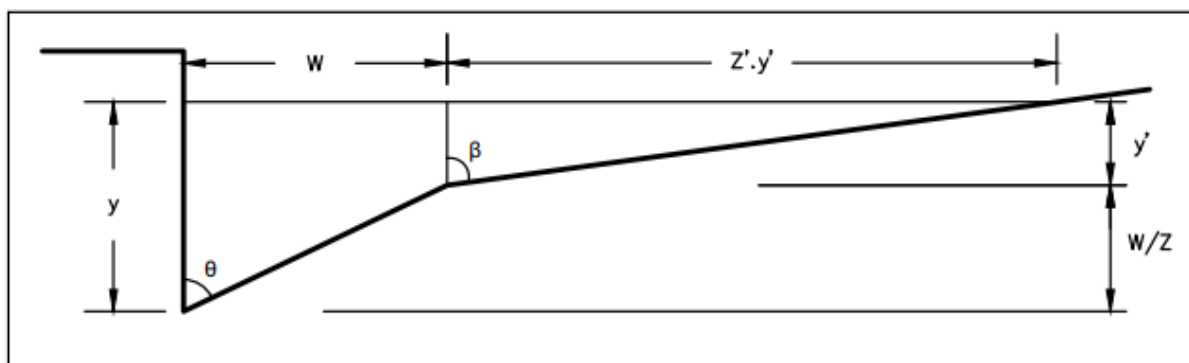


Figura 2 - Características hidráulicas da sarjeta

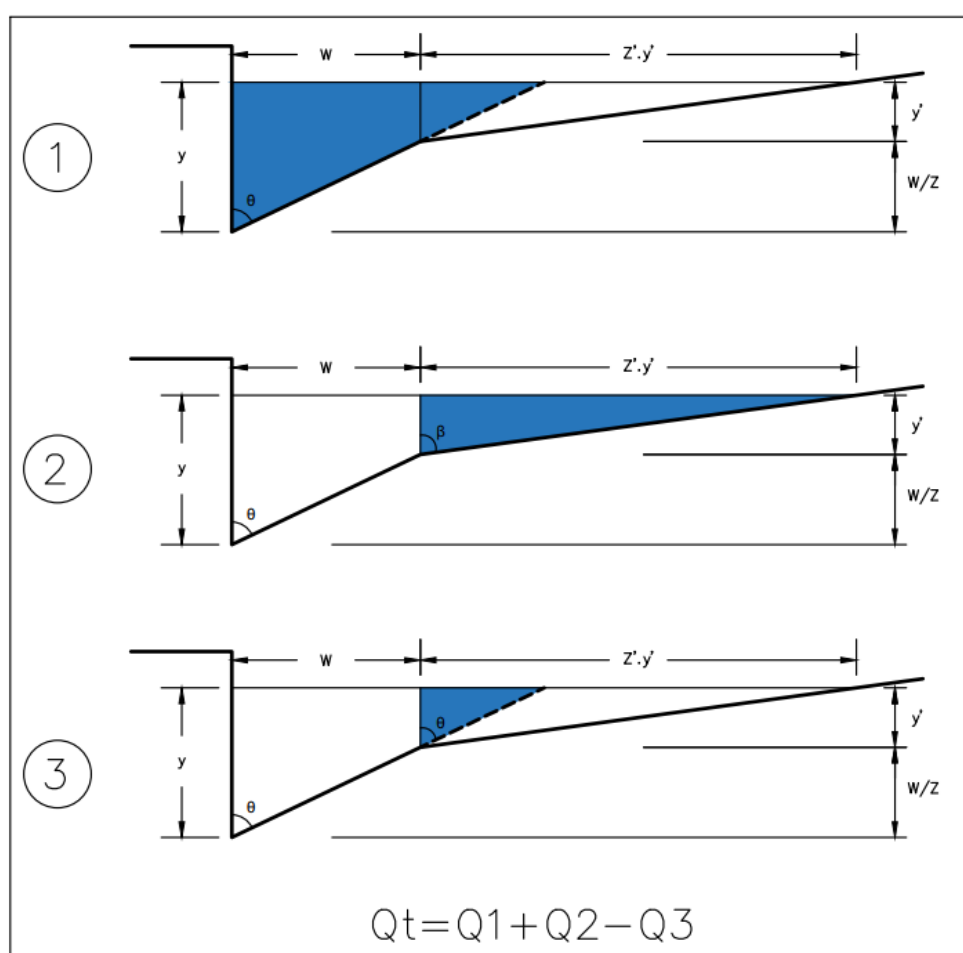


Figura 3 - Detalhes hidráulicos da sarjeta

A verificação da capacidade de escoamento da sarjeta foi realizada calculando a área máxima de escoamento que a sarjeta suporta, considerando-se uma faixa de alagamento máxima de 1,67 metros.

2.2. BOCAS DE LOBO

As bocas de lobo foram dimensionadas de forma a captar a água proveniente das sarjetas até as galerias de água pluvial. Para este projeto serão previstas duas bocas de lobo combinadas duplas e quatro bocas de lobo simples.

As bocas de lobo simples serão ligadas umas nas outras até a ligação ao poço de visita. Isso foi feito porque a área de contribuição dessas estruturas é muito pequena e, portanto, a vazão será muito baixa, não sobrecarregando as tubulações de ligação. Outro fator para esta decisão é a economicidade, visto que seria necessário a construção de um poço de visita maior e mais caro caso elas fossem ligadas cada uma no PV.

2.3. DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO DAS GALERIAS

O dimensionamento hidráulico é realizado junto à verificação das vias considerando simultaneamente os tópicos a seguir. Este é mostrado na tabela do Anexo I.

2.3.1. POSICIONAMENTO

As galerias deverão ser posicionadas no eixo das vias públicas, devendo ser previstas sempre que houver pelo menos uma das seguintes situações:

- Vazão contribuinte maior do que a capacidade de escoamento das vias;
- Velocidade de escoamento nas vias maior que 5,00 m/s;
- Existência de pontos baixos, onde deverão ser implantadas bocas de lobo.

Após a locação do primeiro poço de visita com as respectivas bocas de lobo, são distribuídos outros poços de visitas conforme a necessidade de novos pontos de coleta do escoamento superficial, curvas em planta ou alterações de declividade ou diâmetro de tubulação. Cada captador tem um limite de capacidade de esgotamento de acordo com o tipo de boca de lobo utilizado.

2.3.2. DIÂMETRO MÍNIMO

Foi adotado como parâmetro de projeto o diâmetro mínimo de 0,60 m para galeria. Para ligações de ramais entre bocas de lobo e poços de visita adotou-se o diâmetro mínimo de 0,50 m.

2.3.3. CÁLCULO DA VAZÃO NA GALERIA

Na mesma etapa do projeto, para o dimensionamento, verifica-se a vazão para cada trecho entre PVs, por meio do somatório de vazões dos captadores (Exemplo: bocas de lobo contribuintes) e dos ramais de galeria à montante.

2.3.4. VELOCIDADE DE ESCOAMENTO

A velocidade do escoamento é um parâmetro fundamental na definição da galeria a ser projetada ou verificada hidráulicamente. Se, em função da declividade do conduto e de suas dimensões o fluxo na galeria apresentar velocidades baixas, poderá ocorrer assoreamento ao longo de sua extensão. Porém, se a declividade for acentuada e a velocidade ultrapassar o limite máximo recomendado é necessário à adequação da declividade ou o redimensionamento do conduto, de forma a evitar a ocorrência de fenômenos erosivos no interior da galeria, mantendo o tempo de vida útil de seus dispositivos.

Assim, os limites de velocidade d'água no interior das galerias serão os seguintes:

- $V_{min.} = 0,75$ (m/s);
- $V_{máx.} = 6,00$ (m/s) (ou velocidade de seção plena).

A velocidade pode ser calculada por meio da Equação 4.

$$v = \frac{R_h^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I}}{n}$$

Equação 4 – Velocidade

Onde:

- v - Velocidade (m/s);
- I - Declividade do conduto (m/m);
- Rh - Raio hidráulico (m);
- n - Coeficiente de rugosidade (adimensional).

O raio hidráulico (Rh) é obtido por meio da Equação 5:

$$R_h = \frac{A_m}{P_m}$$

Equação 5 - Raio hidráulico

Em que:

- Am – Área da seção molhada (m²);
- Pm – Perímetro molhado (m).

O coeficiente de rugosidade é adotado conforme o material empregado no dispositivo, como determinado na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores do coeficiente de rugosidade para diferentes materiais de revestimento

Material	Coeficiente (n)
Tubos em PEAD	0,010
Galerias ou bueiros em concreto	0,014
Canais trapezoidais ou retangulares:	
Em concreto	0,013
Alvenaria de Pedra Argamassada	0,025
Em gabiões	0,029
Em gabiões revestidos com concreto magro	0,018
Sem revestimento	0,030
Asfalto	0,013
Em concreto irregular	0,033
Revestido com grama em placas	0,030
Revestido com enrocamento bem construído	0,030
Concreto para sarjeta	0,015

2.3.5. CAPACIDADE MÁXIMA DA GALERIA

Para a obtenção do valor máximo suportado pela via e para o dimensionamento das galerias é empregada a equação da continuidade. Assim, a vazão máxima à seção plena nos condutos é obtida pela Equação 6 a seguir.

$$Q = v \cdot S$$

Equação 6 - Vazão

Em que:

- Q – Vazão (m³/s);

- v – Velocidade da seção plena, apresentada no item 2.3.4 - Velocidade de escoamento (m/s);
- S – Área da seção (m²).

Portanto, como critério de dimensionamento, a capacidade máxima da galeria deve ser superior à vazão que se deseja transportar.

2.3.6. RECOBRIMENTO MÍNIMO DA GALERIA

Nos locais por onde a tubulação passa e que fazem parte do sistema viário foi utilizado o recobrimento mínimo de 1,00 metro de forma a garantir a segurança estrutural das galerias.

2.3.7. DESCARTE

A galeria projetada será conectada no poço de visita existente da Avenida Prefeito Sapucaí, nas coordenadas: latitude Norte 7.542.005,7720 m e longitude Leste 404.064,0170 m.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 09 dez. 2021.

CDHU – Companhia de Desenvolvimento Habitacional e Urbano. Manual Técnico de Projetos. Agosto de 2008.

DER-SP – Projeto Padrão – PPS Drenagem. Disponível em: < <http://www.der.sp.gov.br/Website/Acessos/Documentos/Tecnicas.aspx> >

PORTO, R.M. Hidráulica básica. 2. ed. São Carlos: EESC-USP, 1999.

RAMOS., C.L.; BARROS, M.T.L.; PALOS, J.C.F., COORD. (1999) – Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município De São Paulo. Prefeitura do Município de São Paulo e Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica – CTH, São Paulo.

RIO DE JANEIRO (MUNICÍPIO). Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana. p. 60. Dezembro de 2010.

SÃO PAULO (ESTADO). DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA E RECURSOS HÍDRICOS. Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo. São Paulo: DAEE/CTH, 1999. 141p.

SANTOS, L. C. C. Estimativa de vazões máximas de projeto por métodos determinísticos e probabilísticos. 2010. 173 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

TUCCI, Carlos E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, ABRH, 2009. 943 p.

ANEXO I – PLANILHA DE DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

PROJETO DE GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS

Rua Francisca Ricardina de Paula - Pouso Alegre - MG

coef. de esc. superf. :		0.75		tc inicial = 10 min																			
coef. de manning Concr./PEAD:		0.014 0.010		TR = 10 anos																			
Trecho			Ext. (m)	Área de Contribuição (ha)		Δtc (min)	tc (min)	Intens. (mm/h)	Vazão (m³/s)	Seção (m)	Material	Decliv. (m/m)	Capac. Máxima seção pl. (m³/s)	Vproj (m/s)	y/D	COTAS (m)				Prof. da Galeria (m)		Degrau (m)	
Mont.	-	Jus.		Parc.	Acum.											Terreno		Galeria		Mont.	Jus.		
1	-	2	89.00	1.971	1.971	0.35	10.00	115.478	0.474	0.60	Concreto	0.0540	1.325	4.27	0.41	864.668	859.860	862.968	858.160	1.70	1.70	0.00	
2	-	3	62.00	1.448	3.419	0.19	10.35	114.654	0.817	0.60	Concreto	0.0681	1.488	5.37	0.52	859.860	855.639	858.160	853.939	1.70	1.70	0.80	
3	-	4	39.00	0.304	3.723	0.12	10.54	114.213	0.886	0.60	Concreto	0.0681	1.488	5.47	0.55	855.639	852.184	853.139	850.484	2.50	1.70	1.30	
4	-	5	32.00	0.291	4.013	0.10	10.66	113.937	0.953	0.60	Concreto	0.0669	1.475	5.53	0.58	852.184	848.743	849.184	847.043	3.00	1.70	1.90	
5	-	6	53.00	1.992	6.005	0.15	10.76	113.708	1.423	0.60	Concreto	0.0679	1.486	5.94	0.79	848.743	843.244	845.143	841.544	3.60	1.70	0.80	
6	-	7	45.00	0.420	6.425	0.13	10.91	113.367	1.517	0.60	Concreto	0.0666	1.471	5.88	0.86	843.244	839.447	840.744	837.747	2.50	1.70	0.00	
7	-	8	45.00	0.242	6.667	0.15	11.04	113.074	1.570	0.60	Concreto	0.0535	1.318	4.94	0.98	839.447	837.041	837.747	835.341	1.70	1.70	0.00	
8	-	9	18.70	0.250	6.917	0.06	11.19	112.737	1.624	0.60	Concreto	0.0553	1.341	5.03	0.98	837.041	836.507	835.341	834.307	1.70	2.20	0.00	
10	-	2	17.00	1.448	1.448	0.10	10.00	115.478	0.348	0.60	Concreto	0.0228	0.861	2.89	0.44	860.948	859.860	858.548	858.160	2.40	1.70	0.00	
11	-	5	32.00	1.992	1.992	0.16	10.00	115.478	0.479	0.60	Concreto	0.0262	0.923	3.28	0.51	850.982	848.743	847.882	847.043	3.10	1.70	1.90	