

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS  
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**SAMANTA AMARAL MARTINS**

**AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE ESTRUTURAS DE TRANSPOSIÇÃO DE  
TALVEGUES EM ESTRADAS VICINAIS EM TAQUARI/RS**

**São Leopoldo  
2018**

SAMANTA AMARAL MARTINS

**AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DE ESTRUTURAS DE TRANSPOSIÇÃO DE  
TALVEGUES EM ESTRADAS VICINAIS EM TAQUARI/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil pelo Curso de  
Engenharia Civil da Universidade do Vale  
do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientador: Prof. Ms. Lucas Camargo da Silva Tassinari

São Leopoldo

2018

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe Dirce, à minha vó Donata, e ao meu namorado Fábio, por me incentivarem, me apoiarem em todos os momentos que me fiz ausente para realização deste trabalho, por acreditarem em mim e por estarem sempre ao meu lado.

Agradeço ao Prof. orientador Lucas Tassinari, pela orientação, pela transmissão do conhecimento e pela sua paciência em todas as horas empregadas comigo ao longo deste trabalho.

Agradeço a todos os professores da Universidade do Vale do Rio dos Sinos por todos os conhecimentos fundamentais repassados durante os anos de graduação.

## RESUMO

A drenagem de rodovias tem por objetivo eliminar toda água que atinge o corpo estradal. Em particular, na drenagem de transposição de talvegues, constituídas por bueiros, pontilhões e pontes, as águas são provenientes de uma bacia hidrográfica e que precisam ser transpostas sem causar prejuízos à rodovia. Estas estruturas objetivam garantir segurança aos usuários que trafegam na rodovia e também aos que moram às suas margens, evitando alagamentos e enchentes que podem provocar erosão nos taludes e interrupção no tráfego de veículos. Com a finalidade de aprimorar o conhecimento relativo às estruturas de transposição de talvegues localizadas no município de Taquari/RS, foi realizado neste estudo a descrição de conceitos e critérios de projetos adotados para o dimensionamento de bueiros, pontilhões e pontes, bem como a aplicação destes critérios na avaliação hidráulica de três estruturas tipificadas desta cidade, que foram escolhidas após um diagnóstico breve sobre todas as estruturas localizadas nas estradas vicinais da cidade, realizado através da aplicação de fichas de inspeção. A avaliação do bueiro consistiu na verificação hidrológica com a determinação da vazão de projeto, e na verificação hidráulica para obtenção da vazão admissível. Para o pontilhão e a ponte, a avaliação hidráulica consistiu na comparação do nível de água máximo com a altura disponível na estrutura. Por comparação, foi analisado se as estruturas atendem aos critérios de projeto usuais para prática brasileira, e, para as que não atendem foram propostas soluções. Conclui-se que as três estruturas não estão seguras em termos hidráulicos e hidrológicos, pois não admitem as vazões máximas para o tempo de retorno usual a cada uma.

**Palavras Chave:** Drenagem de transposição de talvegues. Drenagem rodoviária. Hidráulica de bueiros. Hidráulica de pontes.

## ABSTRACT

The drainage of highways aims to eliminate all water that reaches the road. In particular, in the thalwegs transposition drainage, consisting of culverts, bridges and beam bridges, the water comes from a watershed and need to be transposed without damaging the highway. These structures aim to guarantee safety to users that travel on the highway and to those who live along its borders, avoiding floods that can cause erosion in the slopes and interruption in vehicular traffic. With the purpose of improving the knowledge regarding the structures of thalwegs transposition located in Taquari/RS, in this study a description of the concepts and criteria of projects adopted for the design of culverts, beam bridges and bridges was made, as well as the application of these criteria in the hydraulic evaluation of three typified structures of this city, that were chosen after a brief diagnosis on all the structures located in the vicinal roads of the city, done through the application of inspection records. The evaluation of the culvert consisted of the hydrological verification with the determination of the project flow rate and the hydraulic verification to obtain the admissible flow rate. For the beam bridge and the bridge, the hydraulic evaluation consisted of comparing the maximum water level with the available height in the structure. By comparison, it was analyzed whether the structures meet the usual design criteria for Brazilian practice, and, for those that do not, engineering solutions were proposed. It was concluded that the three structures are not safe in hydraulic and hydrological terms, since they do not admit the maximum flows for the usual return time for each one.

**Keywords:** Thalwegs transposition drainage. Road Drainage. Hydraulic of culverts. Hydraulics of bridges.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de bueiro através do aterro de uma estrada.....	18
Figura 2 – Exemplo de perfil de um bueiro.....	18
Figura 3 – Elementos componentes de uma ponte .....	21
Figura 4 – Modelos estruturais de pontes .....	24
Figura 5 – Hidrograma unitário triangular .....	37
Figura 6 – Exemplo de fluxos em canais aberto.....	42
Figura 7 – Relação da declividade com o gradiente de energia.....	46
Figura 8 – Diagrama de energia específica.....	46
Figura 9 – Transições Verticais .....	48
Figura 10 – Condições de funcionamento hidráulico de bueiros .....	50
Figura 11 – Seção transversal de um canal .....	55
Figura 12 – Relação das curvas que relacionam lâminas d'água, vazões e declividades para a definição do vão livre de pontes de pontilhões .....	56
Figura 13 – Fluxograma da execução da metodologia.....	58
Figura 14 – Mapa de localização das estruturas inspecionadas .....	60
Figura 15 – Ficha de inspeção das estruturas.....	61
Figura 16 – Gráfico de classificação dos bueiros .....	69
Figura 17 – Gráfico de quantificação dos pontilhões quanto ao comprimento .....	70
Figura 18 – Gráfico de Classificação de Pontes e Pontilhões .....	71
Figura 19 – Ficha de inspeção do Bueiro .....	72
Figura 20 – Ficha de Inspeção do Pontilhão .....	73
Figura 21 – Ficha de inspeção da Ponte.....	74
Figura 22 – Localização das estruturas de drenagem de transposição de talvegues: a) bueiro; b) pontilhão; c) ponte.....	76
Figura 23 – Delimitação das bacias hidrográficas: a) bueiro; b) pontilhão; c) ponte .....	77
Figura 24 – Tipologia de solos da região .....	79
Figura 25 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do bueiro para um TR de 25 anos.....	82
Figura 26 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do bueiro para um TR de 50 anos.....	82
Figura 27 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do pontilhão para um TR de 100 anos.....	83

Figura 28 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação da ponte para um TR de 100 anos.....	83
Figura 29 – Hidrograma de Projeto do Bueiro para TR 25 anos .....	84
Figura 30 – Hidrograma de Projeto do Bueiro para TR 50 anos .....	84
Figura 31 – Hidrograma de Projeto do Pontilhão para TR 100 anos.....	85
Figura 32 – Hidrograma de Projeto da Ponte para TR 100 anos .....	85
Figura 33 – Exemplificação da forma da seção.....	86
Figura 34 – Representação do coeficiente de Manning $n = 0,038$ para um canal conhecido.....	88

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Detalhe de patologias no bueiro nº 21 .....	67
Fotografia 2 – Condições da superestrutura da Ponte nº 23.....	68
Fotografia 3 – Amostra da cobertura vegetal das três bacias de contribuição: a) bacia do bueiro; b) bacia do pontilhão; c) bacia da ponte.....	80
Fotografia 4 – Amostra da caracterização dos corpos hídricos estudados: a) bueiro; b) ponilhão; c) ponte.....	88

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites de aplicabilidade de diferentes fórmulas para a estimativa do tempo de concentração em bacias rurais.....	30
Tabela 2 – Parâmetros especificados para a curva IDF para a estação localizada na cidade de Taquari/RS.....	32
Tabela 3 – Valores para coeficiente de escoamento.....	35
Tabela 4 – Fator de Correção do Coeficiente de Escoamento.....	35
Tabela 5 – Valores do CN para condições distintas do complexo hidrológico .....	40
Tabela 6 – Velocidades máximas admitidas para água .....	45
Tabela 7 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para concreto .....	53
Tabela 8 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para canais naturais.....	57
Tabela 9 – Cadastro das estruturas de transposição de talvegues no município de Taquari/RS .....	59
Tabela 10 – Vazões de projeto.....	75
Tabela 11 – Caracterização das bacias .....	78
Tabela 12 – Definição do valor do CN.....	80
Tabela 13 – Caracterização das seções hidráulicas das estruturas.....	87
Tabela 14 – Nível máximo de água e folga para as vazão de projeto.....	91
Tabela 15 – Verificação Hidráulica da proposta de adequação do bueiro .....	92
Tabela 16 – Verificação Hidráulica quanto a energia da proposta de adequação do bueiro .....	92
Tabela 17 – Verificação da lâmina normal na proposta de adequação do bueiro .....	93

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ARCGIS	Software para Sistemas de Informações Geográficas
CN	Número da Curva
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
HUT	Hidrograma Unitário Triangular
IDF	Intesidade Duração e Frequência
NBR	Norma Brasileira de Regulação
SCS	<i>Soil Conservation Service</i>
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TR	Tempo de Retorno
USGS	Serviço Geológico dos Estados Unidos

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>12</b>
<b>1.1 Tema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.2 Delimitação do Tema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.3 Problema</b> .....	<b>13</b>
<b>1.4 Objetivos</b> .....	<b>13</b>
1.4.1 Objetivo Geral .....	13
1.4.2 Objetivos Específicos .....	14
<b>1.5 Justificativa</b> .....	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>16</b>
<b>2.1 Drenagem Rodoviária</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2 Estruturas de Transposição de Talwegues</b> .....	<b>17</b>
2.2.1 Bueiros .....	18
2.2.2 Pontilhões .....	20
2.2.3 Pontes .....	21
<b>2.3 Diagnostico Civil</b> .....	<b>24</b>
<b>2.4 Hidrologia Aplicada às Obras de Transposição de Talwegues</b> .....	<b>28</b>
2.4.1 Precipitação de Projeto .....	28
2.4.2 Vazão de Projeto .....	33
<b>2.5 Conceitos e Critérios Aplicados à Hidráulica de Pontes e Bueiros</b> .....	<b>41</b>
2.5.1 Critérios para Projetos de Bueiros .....	49
2.5.2 Critérios para Projetos de Pontes e Pontilhões .....	54
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>58</b>
<b>3.1 Local de Estudo</b> .....	<b>58</b>
<b>3.2 Critérios para a Escolha das Estruturas Analisadas</b> .....	<b>61</b>
<b>3.3 Características Fisiográficas das Bacias de Contribuição</b> .....	<b>63</b>
<b>3.4 Verificação Hidrológica das Estruturas de Transposição de Talwegues</b> .....	<b>63</b>
<b>3.5 Verificação Hidráulica das Estruturas de Transposição de Talwegues</b> .....	<b>64</b>
<b>4 ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	<b>67</b>
<b>4.1 Diagnóstico Civil das Estruturas e Escolha das Estruturas Tipificadas</b> .....	<b>67</b>
<b>4.2 Vazões de Projeto</b> .....	<b>74</b>
4.2.1 Caracterização das Bacias de Drenagem .....	75
4.2.2 Hidrogramas de Projeto .....	80

<b>4.3 Análise Hidráulica das Estruturas .....</b>	<b>86</b>
4.3.1 Caracterização das Estruturas Existentes e Leitos dos Corpos Hídricos .....	86
4.3.2 Análise e Verificação Hidráulica para Vazões de Projeto.....	89
4.3.3 Análise das Soluções Propostas .....	92
<b>5 CONCLUSÃO .....</b>	<b>94</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICE A – APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO: BUEIRO.....</b>	<b>99</b>
<b>APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO .....</b>	<b>100</b>
<b>APÊNDICE C – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: BUEIRO .....</b>	<b>108</b>
<b>APÊNDICE D – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTILHÃO.....</b>	<b>109</b>
<b>APÊNDICE E – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTE.....</b>	<b>110</b>
<b>APÊNDICE F – FICHAS DE INSPEÇÃO.....</b>	<b>111</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os cursos d'água sempre foram fundamentais para o desenvolvimento das civilizações desde os tempos passados, sejam estes arroios, rios ou canais. Por isso todos enfrentaram o mesmo problema: como possibilitar a passagem sobre o curso d'água ou até mesmo transpor para evitar enchentes, tudo isso sem interromper o tráfego.

Em específico quanto à transposição do curso d'água, existem diversos modos possíveis de executar o escoamento de maneira que o nível de água não venha a atingir o eixo da rodovia, podendo ser através de pontes, que vêm sendo utilizadas em todas as grandes civilizações, de pontilhões e através de bueiros.

Portanto pontes, pontilhões e bueiros têm a mesma função: transpor um curso d'água sem interferir no eixo da rodovia. Cada um deles é projetado de acordo com a necessidade de vazão da bacia contribuinte, bem como suas características e as propriedades do terreno local.

O maior desafio é a falta de dados de vazão para realização do projeto, fazendo com que se recorra a metodologias que adotam dados de chuvas e informações físicas da bacia tais como uso e ocupação do solo, topografia, entre outros. No Brasil, é muito comum não haver estes dados de vazão disponíveis. Por esse motivo, tornou-se fundamental a aplicação de modelos de chuva-vazão para o dimensionamento de estruturas de drenagem de transposição de talvegues.

Com isso, cabe ao engenheiro civil ter a capacidade de desenvolver corretamente o dimensionamento de estruturas de drenagem de transposição de talvegues, podendo também avaliar se a estrutura atende aos requisitos principais sob o ponto de vista hidráulico, hidrológico e também quanto à parte estrutural.

Neste trabalho, foi realizada a descrição de critérios para projetos de estruturas de drenagem de transposição de talvegues e de métodos adotados para determinação da vazão, bem como a aplicação destes conceitos em três estruturas tipificadas para a cidade de Taquari, no Rio Grande do Sul, com o objetivo de avaliar a situação atual das mesmas, sob o ponto de vista hidráulico e hidrológico.

## **1.1 Tema**

O tema deste trabalho é drenagem rodoviária, direcionado aos dispositivos que são executados para realizar uma transposição de talvegue – como bueiros, pontes e pontilhões.

## **1.2 Delimitação do Tema**

O trabalho delimita-se ao diagnóstico das estruturas de transposição de talvegues de Taquari/RS sob o ponto de vista hidrológico e hidráulico.

## **1.3 Problema**

As estruturas de drenagem rodoviária são extremamente suscetíveis a falhas quando mal projetadas e/ou executadas. No caso do município de Taquari/RS, na sua maioria, bueiros, pontes e pontilhões estão localizados no interior do município, e em situações precárias. Isso causa prejuízo à população local, formada basicamente por agricultores, quando há interrupção do trânsito por conta de chuvas intensas com conseqüente falha dessas estruturas de drenagem. Por diversas vezes já houve paralisação total do tráfego de veículos devido às cheias dos arroios ocasionando fechamento de pontes e pontilhões. Para esses casos foram criadas, inclusive, rotas alternativas, que passam por cima do curso d'água, tornando-se extremamente perigosas para os veículos.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo Geral**

O presente trabalho tem como objetivo analisar as estruturas de transposição de talvegues localizadas nas estradas vicinais de Taquari/RS, realizando um diagnóstico da situação atual das estruturas e buscando possíveis falhas.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- a) realizar uma fundamentação teórica sobre drenagem de rodovias;
- b) fazer um levantamento das estruturas de transposição de talvegues, de maior relevância, localizadas nas estradas vicinais do município de Taquari/RS;
- c) selecionar dentre todas as estruturas de transposição de talvegues inspecionadas três estruturas (um bueiro, um pontilhão e uma ponte) para análises específicas, cujas situações atuais sejam representativas do estado atual das demais estruturas;
- d) executar uma verificação hidrológica e hidráulica das estruturas de drenagem consideradas como características da situação atual das estruturas de transposição de talvegues no município;
- e) para as estruturas diagnosticadas como deficientes, sob o ponto de vista hidráulico, determinar a probabilidade de falha para um ano qualquer, traduzida em tempo de retorno, e conceber soluções para os locais com base nos critérios usuais de projeto.

#### 1.5 Justificativa

A cidade de Taquari/RS é banhada por um dos principais rios do Estado, com o nome igual ao da cidade. O Rio Taquari é composto de diversos arroios que compõem a bacia hidrográfica baixo Taquari-Antas. Em Taquari, cidade do estudo, as estradas vicinais sofrem com as cheias destes arroios, prejudicando a população que faz uso destas estradas.

As estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas nas estradas vicinais de Taquari/RS encontram-se, em sua maioria, danificadas e em péssimo estado de conservação, o que prejudica o desenvolvimento do interior do município. Em períodos chuvosos, a falta de drenagem rodoviária adequada nestes locais ocasiona enchentes que inviabilizam o tráfego de veículos. Isso justifica a necessidade de uma preocupação maior com estas estruturas de drenagem de transposição de talvegues por parte da administração pública.

Desta forma, este trabalho propõe uma avaliação sob o ponto de vista hidráulico e de segurança hidrológica das estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas nas estradas do interior do município de Taquari/RS.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por objetivo abordar os fundamentos relacionados às estruturas de transposição de talvegues tais como definições conceituais, classificações, tipologias, metodologias de inspeções das estruturas, determinação da precipitação de projeto e seus parâmetros, métodos de cálculo de vazão de projeto, e, por fim, critérios para projetos de estruturas de drenagem de transposição de talvegues.

### 2.1 Drenagem Rodoviária

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006) a função básica de drenagem em uma rodovia é eliminar toda água que, por qualquer motivo, venha a atingir o corpo estradal. Esta água deve ser conduzida para locais de forma a não prejudicar a durabilidade e a segurança da via.

As águas que afetam o corpo estradal originam-se, de acordo com Pereira (1959):

- a) da precipitação da chuva sobre o próprio corpo estradal;
- b) do fluxo de águas superficiais de terrenos vizinhos;
- c) da inundações de curso d'água adjacentes;
- d) da infiltração do solo.

Portanto, qualquer que seja a origem da água, a sua ação é sempre prejudicial, podendo causar alagamento na estrada interrompendo o fluxo de veículos durante enchentes severas, erosão dos taludes em alta velocidade, e com isso, afetando a segurança da estrada. Logo, é necessário conduzir as águas de maneira segura a fim de não afetar as estradas, executando um projeto de drenagem. (PEREIRA, 1959).

Segundo Pereira (1959) existem quatro tipos de drenagem rodoviária:

- a) superficial: tem por objetivo drenar as águas que precipitam sobre a superfície da estrada;
- b) do pavimento: tem por objetivo remover as águas infiltradas entre as camadas do pavimento;
- c) subterrânea: visa drenar as águas que escoam abaixo da superfície da via;
- d) transposição de talvegues: tem por objetivo transpor um curso d'água que atravessa a rodovia, sem comprometer a estrutura da mesma.

Sendo assim, é imprescindível que o profissional responsável pelo projeto e pela execução do projeto de drenagem da rodovia realize sua atividade de forma correta, visando à estabilidade e segurança da estrutura contra a ação das águas.

O presente trabalho aborda a drenagem rodoviária tratando especificamente do quarto tipo apresentado conforme classificação de Pereira (1959), a transposição de talvegues.

## **2.2 Estruturas de Transposição de Talvegues**

O traçado de uma estrada é possível que cruze com algum curso d'água. Logo, nesses casos, será necessária a realização de uma transposição de talvegues a fim de realizar a drenagem do local. Assim, conforme aborda Gusmão Filho (2008, p.13), “[...] é necessário garantir o deflúvio natural destas águas com a construção de passagens através do aterro, por onde a água livremente escoar”.

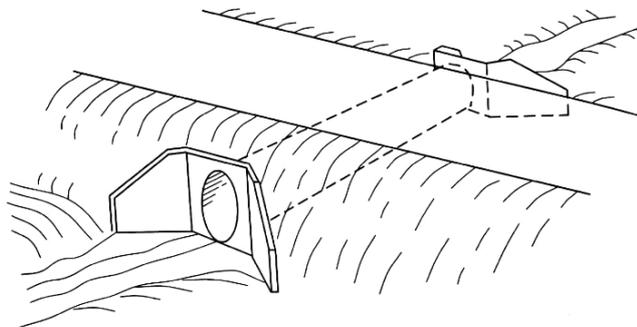
Para o DNIT (2006), uma transposição de talvegue tem por objetivo desviar as águas que se originam de uma determinada bacia, sem que esse desvio seja prejudicial à via em questão, podendo tal atividade ser feita através de bueiro, ponte ou pontilhão.

As três estruturas citadas desenvolvem o mesmo papel: transpor o curso d'água. Porém cabe ao engenheiro civil escolher qual delas será mais adequada conforme o tipo de curso d'água, vazões, largura, comprimento entre outros fatores a serem analisados.

### 2.2.1 Bueiros

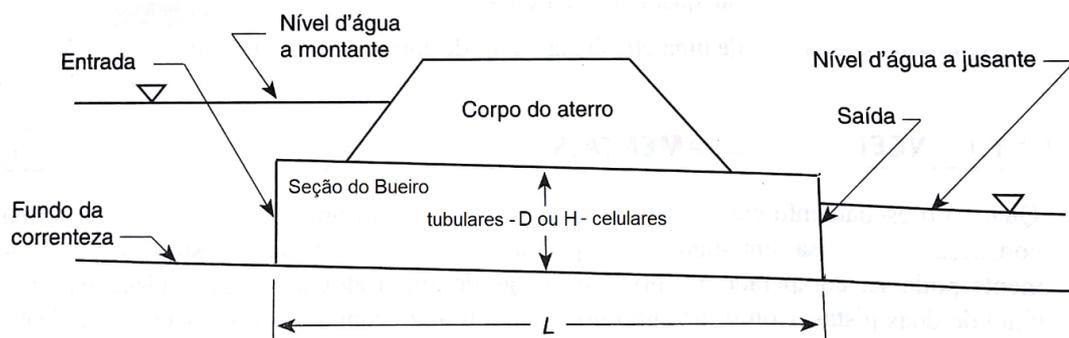
São dispositivos que têm por objetivo transportar livremente águas que atingem a rodovia, realizando a transposição de talvegues. Constituem-se de corpo e boca. O corpo está situado sob aterros e cortes, e sua função é a passagem das águas enquanto, a boca compõe a admissão (jusante) e o lançamento (montante), conforme Figura 1. A Figura 2 apresenta os termos utilizados em análise de bueiros, que serão fundamentais para dimensionamento e projeto de bueiros. (GRIBBIN, 2013).

Figura 1 – Exemplo de bueiro através do aterro de uma estrada



Fonte: Gribbin (2013, p. 138)

Figura 2 – Exemplo de perfil de um bueiro



Fonte: Adaptado de Gribbin (2013, p. 138)

Segundo o DNIT (2006), os bueiros podem ser classificados em quatro categorias: quanto à forma da seção, quanto ao número de linhas, quanto aos materiais que são construídos e quanto à esconsidade.

Quanto à forma da seção, são tubulares para seções circulares, e celulares para seções retangulares. Em casos onde o bueiro não apresenta nenhuma das duas seções citadas ele pode ser classificado como especial, elipse ou ainda ovóide.

Quanto ao número de linhas, eles podem ser de uma linha, duas ou até três linhas de tubos. Entretanto é importante observar que de acordo com DNIT (2006) bueiros com mais de três linhas podem provocar alagamentos em uma faixa muito ampla.

Quanto ao material, os bueiros podem ser construídos de concreto simples, concreto armado, PEAD (polietileno de alta densidade), chapas metálicas e ainda de PRFV (plástico reforçado de fibra de vidro).

A esconsidade para o DNIT (2006, p. 29), “[...] é definida pelo ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e a normal ao eixo longitudinal da rodovia”. Sendo assim, os bueiros podem ser normais quando o seu eixo longitudinal coincidir com o eixo normal da rodovia. No caso de o eixo longitudinal do bueiro formar um ângulo maior que zero com o eixo normal da rodovia, os bueiros serão classificados como esconsos.

De acordo com DNIT (2006), com o objetivo de facilitar a leitura de projetos, foi padronizada a nomenclatura dos bueiros de acordo com o número de linhas, com o tipo de seção e com o material em que são construídos, ficando então a seguinte terminologia:

- BSTC: bueiro simples tubular de concreto;
- BSCC: bueiro simples celular de concreto;
- BSTM: bueiro simples tubular metálico;
- BDTC: bueiro duplo tubular de concreto;
- BDCC: bueiro duplo celular de concreto;
- BDTM: bueiro duplo tubular metálico;
- BTTC: bueiro triplo tubular de concreto;
- BTCC: bueiro triplo celular de concreto;
- BTTM: bueiro triplo tubular metálico.

A fim de realizar o dimensionamento de bueiros, é necessário levar em conta diversos fatores que contribuem para uma execução correta. Os elementos que precisam ser definidos são, conforme DNIT (2006):

- a) declividade: deve ser escolhida a posição adequada para o bueiro podendo a declividade do corpo variar entre 0,4% e 5%;
- b) área da seção: é determinada pela vazão da bacia a ser drenada;
- c) comprimento do bueiro;
- d) velocidade do escoamento: deve ser observada a natureza do terreno, e a máxima velocidade permitida. Em casos em que a velocidade seja superior, haverá necessidade de projetar bacias de amortecimento;
- e) recobrimento: para bueiros tubulares deve ser de no mínimo 1,5 vezes o diâmetro.

Entretanto além dos elementos citados, também devem ser considerados elementos relacionados ao terreno do local. Também são necessários levantamentos topográficos, estudos geotécnicos como sondagens, e estudos hidrológicos a fim de encontrar a descarga gerada pela bacia para executar o projeto em segurança. (DNIT, 2006).

### 2.2.2 Pontilhões

De acordo com o DNIT (2006), pontilhões são obras executadas para transposição de talwegues nas situações em que por exigência da vazão de projeto ou do greide do projeto não é possível executar bueiros. A execução de um pontilhão segue a mesma linha das pontes, sendo a principal diferença entre ambas a extensão. Para Marchetti (2008), pontilhões possuem vãos até 10 metros.

Os elementos de projeto são basicamente os mesmos utilizados nos projetos de pontes, com ressalva do tempo de retorno, onde nestes casos, para pontilhões, podem ser adotados valores inferiores por se tratarem de obras com menor risco a bloqueio do tráfego ou destruição da estrutura. (DNIT, 2006).

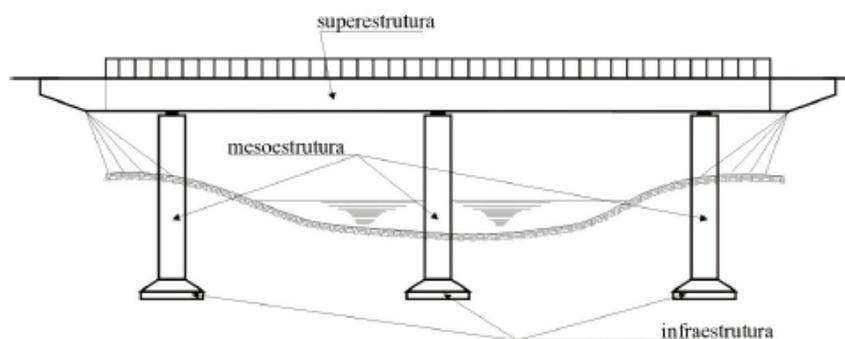
### 2.2.3 Pontes

Existem diversas definições para pontes. Para Vitório (2002, p. 9), genericamente, ponte é “[...] toda obra necessária para manter continuidade de uma via quando existe algum tipo de obstáculo”. O mesmo ainda especifica que “[...] denomina-se ponte a obra de transposição, quando o obstáculo é constituído por água, cabendo-lhe estabelecer a ligação entre as duas margens”. Para DNIT (2006, p. 117), “são obras-de-arte destinadas a vencer os talwegues formados pelo curso d’água cuja transposição não pode ser feita por bueiros ou pontilhões”.

Também podem ser definidas de acordo com a extensão de seu vão, sendo pontes aquelas estruturas com vãos maiores do que 10 metros (MARCHETTI, 2008).

A estrutura de uma ponte é composta, geralmente, pelos elementos visualizados na Figura 3, e descritos a seguir. (VITÓRIO, 2002).

Figura 3 – Elementos componentes de uma ponte



Fonte: Vitório (2002, p. 9)

- a) superestrutura: também chamada de tabuleiro ou estrado, é responsável por vencer o vão. É o elemento que recebe as cargas do tráfego da via, e na sequência transmite essas cargas para a mesoestrutura. Esse elemento é composto por vigas (longarinas, principais e transversinas), lajes e elementos da via;
- b) mesoestrutura: é responsável por conduzir as cargas recebidas da superestrutura para a infraestrutura. Esse elemento é composto por pilares, encontros e travessas;

- c) infraestrutura (ou fundações): é responsável por receber todas as cargas da estrutura, e sua função é transmitir as cargas para o solo. Podem ser fundações do tipo diretas (sapatas) ou profundas (tubulões ou estacas);
- d) encontros: sua função é receber cargas da superestrutura e servem como contenção dos aterros localizados nas extremidades da ponte, absorvendo também os empuxos horizontais, ocasionados pelos aterros. Esse elemento pode ser dispensado em caso de taludes que não apresentam perigo de erosão pelo curso d'água.

De acordo com Pfeil (1983), as pontes podem ser classificadas de quatro formas: quanto a sua finalidade, quanto ao seu material, quanto ao período de utilização e quanto ao tipo estrutural. Quanto a sua finalidade podem ser classificada da seguinte forma:

- a) rodoviária: designada ao tráfego rodoviário;
- b) ferroviária: designada ao tráfego ferroviário;
- c) rodoferroviária: designada tanto ao tráfego rodoviário como ao ferroviário, logo será do tipo mista;
- d) aeroviária: designada ao tráfego de aeronaves, para pistas aeroportos;
- e) passarela: designada ao tráfego de pedestres;
- f) ponte canal: designada a transposição de um bloqueio por um canal;
- g) utilitária: designada ao suporte de utilidades públicas tais como redes de água, esgoto e óleo.

Quanto ao material empregado na construção podem ser de madeira, de alvenaria de pedra, de concreto armado ou protendido e metálicas. As pontes de madeira foram as primeiras obras-de-arte registradas na história. Estas foram utilizadas desde tempo o pré-histórico usando troncos como vigas para vencer cursos d'água. Entre os séculos XVIII e XIX, esse material foi muito utilizado chegando a vencer vãos de 104 metros, como a Ponte-aqueduto sobre o Gard, construída nos Estados Unidos, e que está em perfeito estado. Com a evolução dos materiais de construção, a madeira foi substituída e, hoje, este material é mais encontrado em pontes com menores vãos e em pontilhões. (PFIEL, 1983).

Pfiel (1983) afirma que, as pontes de alvenaria de pedra foram muito utilizadas pelos romanos, através do uso de pedras naturais e, ainda hoje, são encontradas pontes com o uso de pedra argamassada, devido à sua alta resistência. As pontes em concreto armado foram difundidas no século XX, em um primeiro momento servindo como substituição à alvenaria de pedra e, posteriormente, esse material começou a ser utilizado amplamente, sendo atualmente o principal material de construção de pontes, obtendo-se um alto nível de eficiência e segurança, devido ao avanço do seu controle tecnológico.

Já o concreto protendido tem a vantagem de vencer vãos maiores, associado a concretos de alta qualidade, e aços de resistência alta. Como pontes metálicas são capazes de suportar cargas maiores, surgiram na Revolução Industrial (no século XIX), com o avanço das siderúrgicas, as primeiras obras em ferro fundido, e atualmente são largamente utilizadas. (PFEIL, 1983).

A próxima classificação é quanto ao período de utilização. Nesse ponto, podem ser classificadas como permanentes ou provisórias, sendo as provisórias, aquelas que serão utilizadas por um curto espaço de tempo. (PFEIL, 1983).

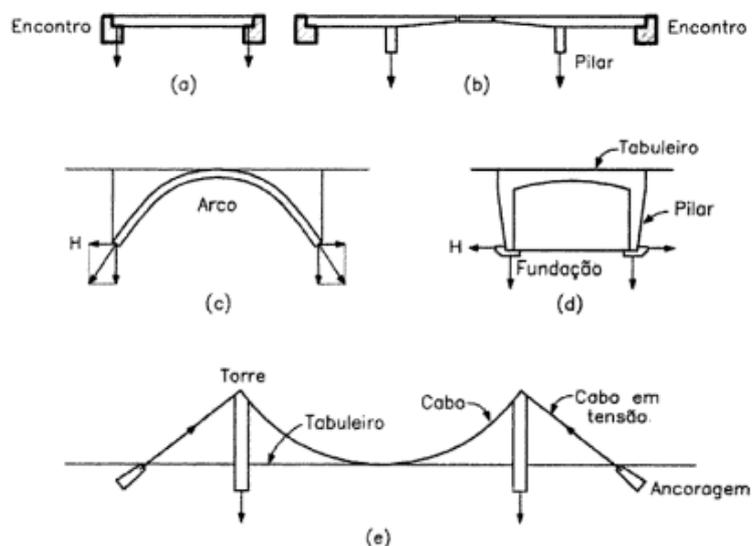
Segundo Pfeil (1983), a última classificação é quanto ao tipo, as pontes podem ser:

- a) em vigas;
- b) em lajes;
- c) em treliças;
- d) em arco;
- e) em quadros;
- f) estaiadas;
- g) suspensas.

A Figura 4 a seguir apresenta uma análise geral das pontes, identificando seus elementos componentes e inúmeros tipos que podem ser:

Figura 4 – Modelos estruturais de pontes

a) viga isolada; b) viga de múltiplos vãos; c) arco; d) pórtico; e) ponte estaiada.



Fonte: Gusmão Filho (2008, p.14)

Vitório (2002) afirma que os estudos hidrológicos são essenciais para obtenção de um desempenho adequado de projetos de pontes, pois grande parte dos problemas deve-se à insuficiência da seção de vazão. Para evitar problemas posteriores, os projetos devem considerar os seguintes itens:

- a) área da bacia a montante da seção do local da obra;
- b) níveis de água máximo e nível de água mínimo;
- c) precipitação anual de chuvas da região;
- d) dados sobre declividade, permeabilidade do solo, vegetação, rugosidade, etc;
- e) dados sobre ações já realizadas no local;
- f) cuidados em relação outras obras existentes no curso d'água;
- g) possíveis transposições.

### 2.3 Diagnostico Civil

Pontes, assim como as demais estruturas de engenharia, precisam satisfazer alguns requisitos principais sendo eles (MARCHETTI, 2008):

- a) funcionalidade: atender às exigências de vazão e de tráfego, de modo que não comprometa a estrutura;
- b) segurança: deverão ser construídas de materiais que resistam às solicitações dos esforços, sem que provoquem a ruptura na estrutura;
- c) estética: apresentar bom aspecto visual e se harmonizar com o ambiente em que estão inseridas;
- d) economia: em todos os projetos deverá ser realizada uma comparação entre diversas soluções, escolhendo sempre a mais econômica e eficiente, entre as opções disponíveis;
- e) durabilidade: atender às obrigações impostas durante toda a vida útil da estrutura.

A conservação da estrutura é sintetizada pelo conjunto de ações que serão necessárias para que a mesma se mantenha em condições adequadas, atendendo os requisitos descritos acima. A primeira etapa para conservação consiste na inspeção, que de maneira geral devem ser constituídas das seguintes fases: vistoria “in loco”, análise do projeto e relatório final. (VITÓRIO, 2002).

No Brasil as inspeções de pontes seguem as prescrições da Norma Brasileira de Regulação (NBR) 9452 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 2016) que especifica os seguintes tipos de inspeção:

- a) inspeção cadastral: é a aquela realizada imediatamente após a conclusão da obra, também deve ser realizada quando houver alterações no sistema estrutural. Sendo considerada uma vistoria de referência onde são anotados dados relacionados à durabilidade e segurança da estrutura;
- b) inspeção rotineira: sua finalidade é a atualização do cadastro da estrutura, realizada entre períodos regulares, onde são verificadas a existência de possíveis irregularidades;
- c) inspeção especial: realizada por um ou mais engenheiros especialistas com a fim de avaliar danos detectados na inspeção rotineira, tais como recalque de fundação e falhas estruturais, visando realizar um diagnóstico e um prognóstico da situação da estrutura;

- d) inspeção extraordinária: é aquela realizada por uma necessidade não agendada, devido a possíveis danos na estrutura como eventos da natureza, acidente de veículos ou necessidade de inspecionar algum critério específico.

O DNIT (2004) acrescenta ainda mais um tipo de inspeção: intermediária. Que tem por finalidade verificar uma possível falha já detectada ou suspeitada na estrutura.

Neste estudo foram confeccionadas fichas inspeção com base nas fichas apresentadas pelo DNIT (2004). Os dados coletados dos dispositivos de drenagem de transposição de talwegues estudados foram:

- a) em relação à estrutura: natureza da transposição, localização e coordenada, comprimento e largura;
- b) em relação à pista: largura da pista, número de faixas e tipo de pavimento;
- c) em relação ao curso d'água: lâmina, regime do rio, situação do leito;
- d) em relação às condições gerais: condição geral em que se encontra a estrutura.

A partir das fichas confeccionadas e da visita em todas as estruturas, foi possível cadastrar brevemente as estruturas de transposição de talwegues localizadas nas estradas vicinais, na cidade de Taquari/RS, o que possibilitou a escolha de três delas, baseado nesta inspeção "in loco".

Usualmente as pontes localizadas em estradas vicinais são construídas em madeira, que de fato é considerado o material mais adequado para pontes do meio rural, onde os vãos variam de pequeno a médio porte. A madeira apresenta grande disponibilidade para uso e alta resistência mecânica o que a torna atrativa economicamente. Entretanto, tais pontes nem sempre são projetadas e executadas por profissionais especializados, o que resulta em estruturas economicamente caras, inseguras e com baixa durabilidade. A situação em que se encontram estas pontes reflete um quadro negativo, no que diz respeito ao uso da madeira de forma estrutural. (CALIL JUNIOR, 2006).

O principal fator que prejudica a vida útil das estruturas, e que ocasiona as inspeções, são as patologias que ocorrem nas estruturas. Patologia é o estudo

dentro da engenharia, que analisa as causas e origens das falhas em obras civis. Analisar as patologias tem por objetivo melhorar a durabilidade das estruturas a fim de diagnosticar possíveis falhas sem que prejudique a segurança da estrutura. (MILANI; KRIPKA, 2012).

Nas madeiras, por se tratar de um material biológico, as patologias usualmente encontradas estão relacionadas a fungos apodrecedores, agentes químicos e intemperismo. Outras patologias também são encontradas, como fissuras relacionadas à secagem da madeira, e deslocamentos relacionados a carregamentos excessivos. (CALIL JUNIOR, 2006).

Para iniciar o projeto de uma ponte (ou qualquer estrutura de transposição de talvegues) é necessário conhecer as características do corpo hídrico e seu comportamento hidrodinâmico e hidrológico. No que diz respeito às características físicas do corpo hídrico, estas podem ser determinadas pela geologia, descargas, topografia, clima e o pelo uso da terra no local. Outra característica importante é o tipo de solo do local que influencia sobre a erosão do leito e a presença de taludes instáveis. (GUSMÃO FILHO, 2008).

A variação das diversas características do rio, e suas relações, são chamadas de regime do rio. Segundo Gusmão Filho (2008, p. 36), “a teoria do regime de rios e canais diz que podem ser formuladas relações definidas entre descargas dominantes do canal, declividade e propriedades dos materiais nas margens”.

Logo, a erosão do leito é um fator prejudicial às pontes, pois é responsável por diversos acidentes que ocorrem com essas estruturas. O trecho curvo dos rios é o local com maior tendência à ocorrer situações de risco devido à erosão no exterior da margem, e sedimentação no interior da margem. (VITÓRIO, 2002).

A erosão pode, ainda, Vitória (2002, p. 48),

[...] ser causada por uma cheia através da rápida elevação no nível da água, com movimentação e rebaixamento do leito do rio. Essa forma de erosão é mais acentuada nos rios estreitos ou limitados por taludes altos. No caso de rios mais largos, a água tende a espraizar por uma grande superfície, diminuindo assim os efeitos da erosão.

Portanto, para realizar o projeto, é necessário que haja um estudo completo com as características reais do corpo hídrico, devendo haver a interpretação destas a fim de elaborar um projeto adequado e seguro, buscando-se reduzir os processos

de erosão e assoreamento, com consequentes instabilidades geotécnicas localizadas, e também verificando a estrutura quanto às cheias.

## **2.4 Hidrologia Aplicada às Obras de Transposição de Talwegues**

Este item trata sobre os estudos hidrológicos necessários para realização de projetos de obras de transposição de talwegues, os quais consistem em estudos de precipitação de projeto e vazão de projeto.

### **2.4.1 Precipitação de Projeto**

A precipitação, na hidrologia, é definida como toda água oriunda da atmosfera, e que alcança a superfície terrestre. Assim, a precipitação é informação principal de entrada adotada no cálculo da vazão de projeto em obras de drenagem de transposição de talwegues. Por definição, a precipitação de projeto determina a precipitação utilizada na concepção do hidrograma ou vazão de projeto. (TUCCI, 2014).

Para o dimensionamento de estruturas de transposição de talwegues conforme DNIT (2005, p. 15),

é de grande importância a consideração dos fatores de risco de superação e do grau de degradação que possam ocorrer devido a longas exposições da estrada aos efeitos da precipitação, o que leva a tratar o ciclo hidrológico de uma forma particular.

A quantificação das precipitações é realizada através de postos de medição de chuvas, que têm por objetivo obter uma série contínua ao longo dos anos. Assim, a precipitação de projeto é a quantificação de um evento crítico sistematizado de forma artificial, baseado em características de chuvas naturais, e fatores de resposta da bacia contribuinte. (TUCCI, 2014).

Tucci (2014) explica que, as grandezas que constituem uma precipitação são: a lâmina precipitada, sendo esta a altura média da lâmina de água, considerando que essa água não evapore, nem infiltre, e nem escoe para outro local; a duração da chuva, sendo o espaço de tempo no qual a chuva cai; a intensidade correspondendo

à precipitação por unidade de tempo, e, por último; o tempo de retorno, que considera a precipitação um fenômeno aleatório, onde o tempo de recorrência (ou de retorno) é interpretado como um valor de anos, onde se espera que uma mesma precipitação seja igualada ou superada.

De acordo com DNIT (2005), o tempo de retorno (ou de recorrência) refere-se ao período de tempo com a probabilidade de ocorrência de no mínimo uma vez de um fenômeno de grande magnitude. Portanto, para estruturas de transposição de talvegues, esse valor corresponde a enchentes de projeto que guiarão o dimensionamento das estruturas, pois, será necessário realizá-lo de modo que a estrutura seja eficaz a possíveis enchentes para um determinado risco de superação.

Nesta decisão é imprescindível que se considere a importância do projeto, pois o tempo de retorno determinará estatisticamente a segurança da rodovia. Prevê-se que dentro deste tempo, de forma geral, não ocorrerão falhas na estrutura sem afetar a região próxima à rodovia. Logo, a determinação do TR muda de acordo com o tipo de obra e de sua magnitude, e está diretamente relacionada com a vazão de descarga da bacia. Em bueiros o tempo de retorno utilizado é de 10 a 20 anos, e, no caso de pontes e pontilhões, de 50 a 100 anos. A escolha do tempo de retorno depende de fatores como o tipo e a magnitude da obra. (DNIT, 2005).

Segundo DNIT (2005), a análise das grandezas que definem a precipitação é fundamental, pois influenciará no bom desempenho da estrutura, podendo levar a estrutura à falha, caso não seja dimensionada corretamente. No caso de bueiros, podem haver inundações de regiões a montante, erosão dos taludes de corte e aterro ou, ainda, transbordamento das águas. As estruturas como pontes e pontilhões, que englobam vazões maiores, poderão ter danos conseqüentemente maiores. A ineficácia das pontes pode ser capaz de causar danos à estrutura, ruptura dos aterros ou bloqueio do tráfego da rodovia por transbordamento do curso d'água ocasionando obras de reparação maiores e demoradas.

Para determinação de duração de chuva, deve-se levar em consideração o tempo de concentração, que é um fator bastante complexo de ser definido, pois depende de diversos fatores como, por exemplo: cobertura vegetal, declividade, área da bacia, comprimento, permeabilidade do solo e características físicas do rio principal. Por definição, o tempo de concentração é o tempo em que o deflúvio leva para realizar o percurso até atingir o exutório, surgindo do pressuposto de que a

bacia responde de forma linear para um escoamento direto. Logo, a sua determinação é necessária para aplicação de alguns dos modelos de chuva-vazão empregados em estudos hidrológicos de cheias, e será um fator importante no cálculo da vazão de projeto. (DNIT, 2005).

Nas literaturas especializadas, são abordadas diversas fórmulas empíricas para o cálculo de tempo de concentração, em função dos fatores que influenciam o seu resultado. Neste estudo, a determinação do tempo de concentração para a cidade de Taquari/RS foi baseada na análise de uma equação, que foi escolhida seguindo as características apresentadas na Tabela 1, que especifica para cada fórmula alguns parâmetros de acordo com o tipo de bacia estudada, como limites para o tamanho da área, o valor da declividade e do comprimento do talvegue, possibilitando uma escolha adequada. As fórmulas são todas baseadas em estudos para bacias norte-americanas, italianas e indianas, mas são muito usuais e eficazes em bacias brasileiras. Entretanto, é importante salientar que todas elas possuem caráter empírico e prático, e são usualmente expostas em textos técnicos, e que não são referenciados todos os seus limites de aplicação. Apesar de todas as fórmulas de tempo de concentração possuírem caráter empírico, na prática, seus resultados são aceitos por se tratarem de fórmulas que captam a realidade da bacia. (SILVEIRA, 2005).

Tabela 1 – Limites de aplicabilidade de diferentes fórmulas para a estimativa do tempo de concentração em bacias rurais

Nome	Local	Nº de bacias	Área (km <sup>2</sup> )	S (%)	L (km)
Kirpich	EUA	6/7	< 0,45	6/7	< 1,2
SCS Lag	EUA	-	< 8,1	-	-
Simas	EUA	168	< 15	-	-
Chow	EUA	20	1,1/19	-	-
Dooge	EUA	20	140/930	-	-
Johnst.	EUA	19	65/4200	-	-
C. Eng.	EUA	25	< 12000	< 14	< 257
Giandotti	Itália	-	-	-	-
Pasini	Itália	-	-	-	-
Ventura	Itália	-	-	-	-
Picking	-	-	-	-	-
DNOS	EUA	6	< 0,45	3/7	< 1,2
C. Ribeiro	EUA/Índia	8	< 19000	1/10	< 250

Fonte: Adaptado de Silveira (2005, p. 10)

A equação de tempo de concentração que apresenta melhores resultados é a equação (1) de Chow (1962 *apud*. Silveira, 2005) que é originalmente uma fórmula de tempo de pico, mas que pode ser aplicada para cálculo do tempo de concentração. Dentre as fórmulas aplicadas para bacias rurais, a equação (1) apresenta um baixo erro médio. (SILVEIRA, 2005).

$$T_c = 0,160 \cdot L^{0,64} \cdot S^{-0,32} \quad (1)$$

Onde:

$T_c$  = tempo de concentração, em horas;

$L$  = comprimento do talvegue, em km;

$S$  = declividade média, em m/m.

A caracterização das precipitações máximas se dará por três grandezas: intensidade, duração e frequência, onde a intensidade pode ser substituída pela precipitação de projeto (ou chuva de projeto), a duração será dada pelo tempo de concentração (podendo a duração do evento de chuva ser igual ou superior ao tempo de concentração, dependendo da área da bacia), e a frequência pela probabilidade de recorrência (ou tempo de retorno). (TUCCI, 2014).

Em função disso foram desenvolvidas equações denominadas de IDF (Intensidade-Duração-Frequência) para realizar o dimensionamento de estruturas. A correlação entre essas três variáveis deverá ser obtida através da observação de chuvas intensas ao longo de um extenso período de tempo e representativo dos eventos que ocorrem na região estudada, logo essas equações serão variáveis de acordo com o local estudado e a bacia. (TUCCI, 2014).

Essas equações podem ser expressas de forma genérica conforme apresenta a equação (2) (TUCCI, 2014):

$$i = \frac{a \cdot Tr^b}{(t + c)^d} \quad (2)$$

Onde:

$i$  = intensidade da chuva, dado em mm/h;

$Tr$  = tempo de recorrência, dado em anos;

$t$  = duração da chuva, dado em minutos;

$a, b, c, d$  = parâmetros que serão definidos para cada local analisado;

De acordo com o DNIT (2005), em diversos casos para obtenção da IDF para o local desejado, recorre-se a estudos já realizados, como o trabalho pioneiro do Eng. Otto Pfafstetter, em 1957, responsável pela elaboração de diversas equações para 98 postos pluviográficos brasileiros, e que são referência para muitos projetos. Segundo o DRH/SEMA (2012), a equação IDF pode ser definida a partir de séries longas registradas em estações pluviométricas, onde a partir disto são definidos os parâmetros para análise da equação IDF em diversos municípios.

O DRH/SEMA (2012) afirma que para o município de Taquari/RS (local de estudo), a fim de determinar os parâmetros para definição da Equação IDF, foram utilizados dados obtidos a partir da estação pluviométrica localizada na cidade (Código ANA 02951030). Os valores dos coeficientes estão expressos na Tabela 2 e foram substituídos na equação (2) com a finalidade de se obter os valores da intensidade (mm/h).

Tabela 2 – Parâmetros especificados para a curva IDF para a estação localizada na cidade de Taquari/RS

Estação Pluviométrica	Parâmetros de curva IDF			
	a	b	c	d
Taquari Sub-bacia Baixo Taquari	1.102,36	0,10	14,16	0,77

Fonte: Adaptado de DRH/SEMA (2012, p. 516)

Tucci (2014) afirma que, a distribuição temporal da precipitação influencia na composição do hidrograma de projeto, sendo um dos principais métodos de distribuição temporal da precipitação o método dos blocos alternados. Sendo, adotado para cálculo da precipitação de projeto em modelos de chuva-vazão, e possibilitando a obtenção do hietogramas de projeto

Neste método, após a definição da duração da chuva e do tempo de recorrência são calculadas as intensidades médias, a partir da equação IDF, para todas as durações do intervalo definido até a duração final. Os valores de intensidade são convertidos em alturas de precipitação, e, configuram os valores

acumulados até o final do intervalo. Após, é calculado o acréscimo de chuva para cada duração, onde os valores devem ser rearranjados a partir de um pico, de modo que o maior valor se posicione no centro da duração da chuva. Desta forma busca-se potencializar o pico do hidrograma, tendo em vista que as chuvas iniciais respondem as perdas por infiltração e o acréscimo representa o escoamento superficial. (TUCCI, 2014).

#### 2.4.2 Vazão de Projeto

No cálculo de uma obra de transposição de talvegue, faz-se necessário a realização de estudos hidrológicos para determinar a vazão máxima que a bacia contribuinte irá descarregar no corpo hídrico. A vazão máxima (ou enchente de projeto) por definição é considerada como um valor relacionado com um risco de ser ultrapassado. (TUCCI, 2014).

Quando não se dispõe de monitoramento de vazão, considera-se que uma determinada chuva com um certo tempo de retorno resultará em uma vazão para o mesmo tempo de retorno. Para esta simplificação, adotam-se expressões matemáticas que estabelecem a relação chuva-deflúvio. (DNIT, 2005).

Segundo Tucci (2014), o estudo da vazão máxima, pode ser dividido em duas hipóteses: dimensionamento ou representação de um determinado evento. Para o dimensionamento, as vazões precisam representar condições críticas com possibilidade de ocorrência de um determinado risco, onde para este determinado risco deverão ser exploradas as condições mais desfavoráveis para cada tipo de obra e sua importância.

Sendo assim, de acordo com Gusmão Filho (2008), é necessário avaliar alguns requisitos hidráulicos nos projetos de pontes, pois o mau dimensionamento da seção para vazões de enchente causam ação erosiva junto aos pilares e encontros que prejudicam os aterros de acesso. Alguns dos fatores hidráulicos a serem considerados na determinação do local da ponte são:

- a) locação: o local deve permitir a execução de uma ponte segura e de fácil acesso, atendendo os requisitos do corpo estradal, da natureza do corpo hídrico e proteção para eventos extremos;

- b) altura: o tabuleiro deve possuir a altura necessária para não expor a estrutura ao perigo da ação do corpo hídrico;
- c) comprimento: a distância da abertura livre deve permitir que passe a máxima enchente prevista a fim de não colocar em perigo a rodovia.

Com isso a vazão máxima poderá ser obtida baseada na precipitação, como dado de entrada principal, através de modelos de chuva-vazão que refletem os processos relevantes da transformação da precipitação em vazão. (TUCCI, 2014).

Os métodos abordados para o cálculo da vazão nas bacias estudadas do município de Taquari/RS foram: método racional corrigido e método SCS (*Soil Conservation Service*).

No cálculo de vazões máximas, o DNIT (2006) afirma que para bacias de até 1km<sup>2</sup>, utiliza-se o método racional, enquanto para bacias maiores que 1km<sup>2</sup> até 10km<sup>2</sup> adota-se o método racional corrigido, e, para bacias com áreas superiores a 10km<sup>2</sup> utiliza-se o método SCS.

Apesar do método racional ser geralmente aplicado em bacias de menor área no Brasil, em outros países também é aplicado em bacias maiores. Eventualmente em casos de aplicação do método em bacias de maior área, até 10km<sup>2</sup>, têm-se a necessidade corrigir dados de precipitação, por meio de um fator de redução aplicado na área, devido ao fato da distribuição na superfície da bacia não se dar de forma uniforme. (DNIT, 2005).

O método racional relaciona a intensidade da chuva com a área da bacia, a fim de encontrar uma descarga máxima (vazão de projeto). O mesmo é dado por meio de uma expressão muito simplificada, a qual adota um coeficiente que expressa o comportamento médio da área da bacia na formação do escoamento. Assim, todas as imprecisões do método estão reunidas nesse coeficiente, também chamado de coeficiente de escoamento. Esse coeficiente caracteriza a relação entre a precipitação e a vazão, considerando, além do volume gerado pela precipitação, a variação da intensidade e ainda as perdas geradas por infiltração do solo, evapotranspiração e interceptação. A determinação do coeficiente de escoamento é realizada através de tabelas, conforme expressa a Tabela 3 a seguir. (DNIT, 2005).

Tabela 3 – Valores para coeficiente de escoamento

<b>Características da superfície</b>	<b>Coeficiente de escoamento</b>		
Revestimento de concreto de cimento portland	0,70	-	0,90
Revestimento betuminoso	0,80	-	0,95
Revestimo primário	0,40	-	0,60
Solos sem revestimento com baixa permeabilidade	0,40	-	0,65
Solos sem revestimento com permeabilidade moderada	0,10	-	0,30
Taludes gramados	0,50	-	0,70
Prados e campinas	0,10	-	0,40
Áreas florestais	0,10	-	0,25
Terrenos cultivados em zonas altas	0,15	-	0,40
Terrenos cultivados em vales	0,10	-	0,30

Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 220)

Tucci (2014) explica que, de acordo com o comportamento da bacia espera-se que o coeficiente de escoamento sofra alterações conforme o tempo de retorno adotado. Visto que com o aumento da intensidade da chuva as perdas se alteram, o coeficiente de escoamento deve aumentar. Para atender a esta variação adota-se um multiplicador para o coeficiente de escoamento relacionado com o tempo de retorno adotado, apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Fator de Correção do Coeficiente de Escoamento

<b>Tempo de Retorno (anos)</b>	<b>Cf</b>
25	1,10
50	1,20

Fonte: Adaptado de Tucci (2014, p. 544)

Sendo assim, para a determinação da descarga através do método racional, de acordo com DNIT (2005, p. 123),

[...] admite-se que a precipitação sobre a área é constante e uniformemente distribuída sobre a superfície da bacia. Para considerar que todos os pontos da bacia contribuem na formação do deflúvio é estabelecido que a duração da chuva deve ser igual ou maior que o seu tempo de concentração e, como a intensidade da chuva decresce com o aumento da duração, a descarga máxima resulta de uma chuva com duração igual ao tempo de concentração da bacia.

Entretanto, segundo DNIT (2005), para correção de efeitos de distribuição de chuva são adicionados coeficientes redutores das chuvas, chamados de coeficientes de distribuição, a partir disso tem-se a equação do método racional corrigido:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A^{0,9}}{3,6} \quad (3)$$

Sendo:

$Q$  = vazão de projeto, dado em m<sup>3</sup>/s;

$C$  = coeficiente de perdas, adimensional;

$I$  = intensidade da chuva, dado em mm/h;

$A$  = área de bacia hidrográfica, dado em km<sup>2</sup>.

O método SCS-HUT é uma ferramenta utilizada para calcular o Hidrograma Sintético Triangular (HUT) baseado em condições empíricas, que foi desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (Serviço de Conservação do Solo – SCS) dos Estados Unidos. Esse método é largamente utilizado para projeto de estruturas hidráulicas, que possuem grandes áreas de drenagem. (GRIBBIN, 2013).

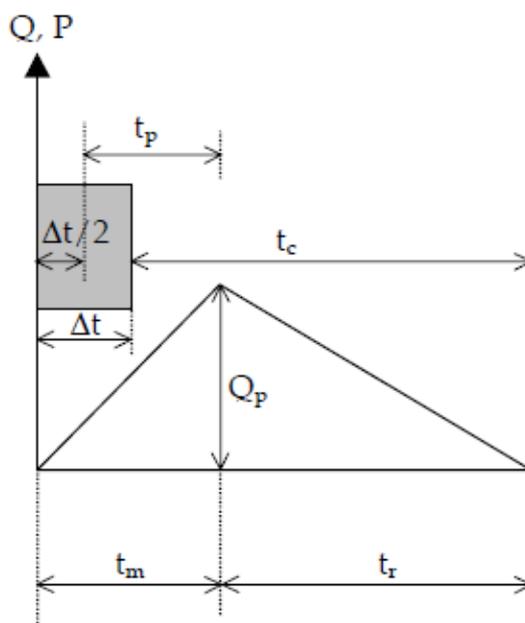
Segundo Tucci (2014), o cenário mais frequente, na prática, é a escassez de dados de séries longas de chuvas, por isso, usualmente os hidrogramas de projeto são determinados através de modelos de chuva-vazão a fim de encontrar o valor de descarga máxima (vazão de projeto) da bacia contribuinte.

De acordo com Gribbin (2013), em algumas circunstâncias é necessário relacionar o escoamento no espaço de tempo para determinados eventos de chuva. Esta relação dá origem a um hidrograma tipo. Um hidrograma de projeto pode ser determinado baseado no histórico de chuvas da área de estudo e um hidrograma unitário, ou sintético, é definido como sendo um hidrograma resultante de uma parcela da precipitação considerando o desconto das perdas (precipitação efetiva). A unidade de tempo é admitida como uma parcela do tempo de concentração.

Quando for determinado um hidrograma unitário, conforme Figura 5, para uma área de drenagem, com base nele podem ser desenvolvido hidrogramas para qualquer precipitação. Sendo assim, a aplicação do método SCS se dá a partir da elaboração do hidrograma unitário baseado nas informações coletadas para cada

bacia, onde estas informações retratam as características das bacias hidrográficas e também refletem os padrões de precipitações. (GRIBBIN, 2013).

Figura 5 – Hidrograma unitário triangular



Fonte: PMPA/IPH (2005, p. 114)

Miguez, Veról e Rezende (2016) explicam que o hidrograma unitário é fundamentado em alguns parâmetros sendo eles:

- tempo de concentração da bacia ( $t_c$ );
- intervalo de simulação do evento de chuva ( $\Delta t$ ): este intervalo segue o seguinte critério  $\Delta t \leq t_c/5$ ;
- tempo de subida do hidrograma ( $t_m$ ): baseado na relação entre o intervalo de simulação adicionado a uma parcela do tempo de concentração;

$$t_m = \frac{\Delta t}{2} + 0,6 \cdot t_c \quad (4)$$

- tempo de pico ( $t_p$ ):

$$t_p = 0,6 \cdot t_c \quad (5)$$

e) tempo de recessão ( $tr$ ):

$$tr = 1,67 \cdot tm \quad (6)$$

f) tempo de base ( $tb$ ):

$$tb = tm + tr \quad (7)$$

g) vazão máxima ( $Qp$ ): determinada pela relação entre a área e o tempo de subida, sendo este último em horas.

$$Qp = \frac{0,208 \cdot A}{tm} \quad (8)$$

Na aplicação do método SCS a primeira etapa é a determinação do tempo de concentração e do intervalo de simulação do hidrograma, sendo este um fator essencial na definição da forma do hidrograma unitário. A etapa seguinte é a determinação da área de drenagem. Para áreas de valor superior a 25km<sup>2</sup> é necessário utilizar um fator de redução apresentado na equação (9), a fim de considerar o efeito de distribuição espacial da chuva, dado na equação (10). (PMPA/IPH, 2005).

$$Ka = 1 - 0,25 \cdot \frac{\sqrt{A}}{\beta} \quad (9)$$

$$\beta = 0,054t + 12,9 \quad (10)$$

$Ka$  = coeficiente de abatimento (variando de 0 a 1);

$A$  = área da bacia, em km<sup>2</sup>;

$\beta$  = valo teórico onde se anula a correlação espacial, dado na equação, em km;

$t$  = valor do evento de chuva, em minutos.

A próxima etapa é a determinação do tipo solo e uso do solo, que é decisiva, pois define o padrão de geração do escoamento na bacia. A análise do solo permite a determinação do Número da Curva (CN), que é o principal parâmetro do método. Fatores como textura do solo, áreas florestais e, ainda, a precipitação da chuva atuam na quantificação do valor do coeficiente de deflúvio. (DNIT, 2005).

Esse método foi elaborado a partir da análise de solos dos Estados Unidos, dividindo-os em quatro grupos de acordo com a produção de escoamento e a taxa de infiltração. Posteriormente, baseados nessa análise alguns autores realizaram estudos para os solos do Brasil, onde propuseram categorias hidrológicas para os solos brasileiros. (SARTORI et al., 2005).

De acordo com Lombardi Neto (1989 *apud*. Sartori et al., 2005) a classificação hidrológica dos tipos de solos brasileiros foi realizada da seguinte forma:

- i. Grupo A: São solos argilosos e muito profundos, que apresentam taxa de infiltração alta e alta resistência à erosão;
- ii. Grupo B: São solos areno-argilosos com taxa de infiltração e resistência a erosão moderados;
- iii. Grupo C: São solos com muita argila e poucos profundos, apresentam taxa de infiltração e resistência à erosão baixa;
- iv. Grupo D: São solos rasos com baixa taxa de infiltração e pouco resistentes a erosão, entram nesse grupo os solos orgânicos;

A partir da classificação hidrológica dos solos, a determinação do valor do Número da Curva (CN) é feita de acordo com a permeabilidade do solo, sua textura, umidade anterior e cobertura vegetal. Por isso, classifica-se quanto à cobertura vegetal (DNIT, 2005):

- Áreas urbanas;
- Matas ou Bosque;
- Áreas de agricultura e agropecuária;
- Pasto;
- Terrenos com pouca vegetação ou não cultivados;

Esses parâmetros fornecem a orientação para a escolha do CN, que é um número variável teoricamente de 0 a 100. A condição de retenção superficial está relacionada com a capacidade do solo em armazenar a água durante precipitações intensas. Entretanto diante da variação deste parâmetro durante a vida útil das estruturas, predomina a classificação do tipo de solo ditado pela sua permeabilidade.

(DNIT, 2005). A Tabela 5 apresenta a relação do grupo hidrológico com a cobertura vegetal para definição dos valores de CN.

Tabela 5 – Valores do CN para condições distintas do complexo hidrológico

Solo - Cobertura Vegetal						
Cobertura Vegetal	Condição de Retenção Superficial	Grupo Hidrológico				
		A	B	C	D	
Terreno não Cultivado com Pouca Vegetação	Pobre	77	86	91	94	
	Boa	72	81	88	91	
Terreno Cultivado	Pobre	51	67	76	80	
	Boa	68	79	86	89	
Pasto	Pobre	39	61	74	80	
	Boa	45	66	77	83	
Mata ou Bosque	Pobre	25	55	70	77	
	Boa	74	80	87	90	
Área Urbana	Pobre	70	76	83	86	
	Boa					

Fonte: Adaptado de DNIT (2005, p. 73)

Segundo Gribbin (2013), após a determinação do CN será realizado o cálculo da precipitação, que é a parcela de chuva disponível para escoamento após as perdas iniciais e por infiltração. O cálculo é realizado através da equação (11) a seguir:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (11)$$

Sendo:

$Q$  = escoamento (mm);

$P$  = precipitação (mm);

$S$  = retenção máxima depois que o escoamento inicia (mm);

$I_a$  = perdas iniciais (mm);

Onde as perdas iniciais estão relacionadas diretamente com o CN. O valor da retenção máxima de água após o início do escoamento é calculado pela equação

(12), e o valor das perdas iniciais é calculado pela equação (13) a seguir. (DNIT, 2005).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (12)$$

$$Ia = 0,2 \cdot S \quad (13)$$

Com a realização de todas as etapas descritas dá-se a aplicação do método SCS transformando-se a precipitação em vazão através da propagação superficial pelo hidrograma unitário triangular. (PMPA/IPH, 2005).

Dentre os dois métodos abordados, o método SCS-HUT oferece uma representação mais realista do escoamento na bacia se comparado com o método racional corrigido. Por esta razão é utilizado em obras hidráulicas de grande porte, pois, quanto maior a obra, mais elevado é o custo da falha e, por este motivo, é necessário que o método utilizado para cálculo de vazão seja o mais realista e adequado. (GRIBBIN, 2013).

## 2.5 Conceitos e Critérios Aplicados à Hidráulica de Pontes e Bueiros

Quanto ao projeto hidráulico de bueiros, pontes e pontilhões, alguns conceitos fundamentais precisam ser abordados, no que diz respeito à hidráulica de canais abertos e às leis que regem o escoamento em condutos livres.

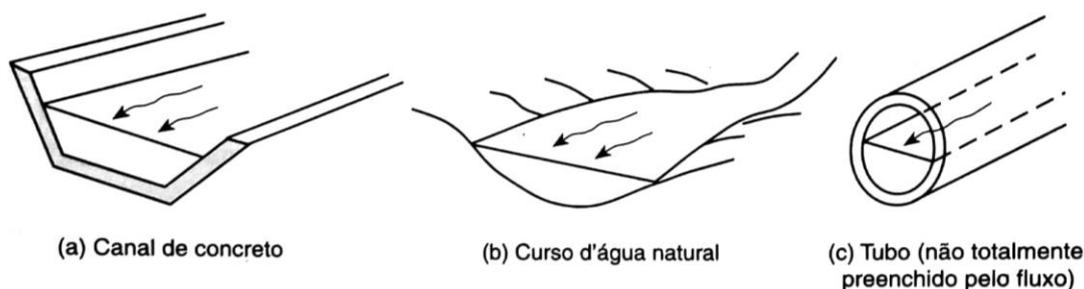
Em canais abertos o escoamento pode ser classificado de acordo com a variação temporal e espacial. Quanto à variação temporal, o escoamento pode ser permanente, que é aquele em que a vazão é constante no tempo, ou transiente, havendo, portanto, variação vazão ao longo do tempo. Para variação espacial, o escoamento pode ser classificado de três formas (BAPTISTA; LARA, 2010):

- a) uniforme: é aquele em que a profundidade da água, a velocidade e área molhada da seção são constantes ao longo de todo o conduto. Para esta condição, a superfície da água e o fundo do canal possuem uma mesma declividade;

- b) gradualmente variado: é aquele em que as características do fluxo variam de forma lenta e gradual;
- c) bruscamente variado: é aquele em que as características do fluxo variam de forma rápida e brusca.

Ainda quanto às classificações de canais abertos, pode-se classificar de acordo com a sua geometria conforme Figura 6, sendo os prismáticos aqueles que conservam sua seção e declividade constantes, configurando um escoamento uniforme. (GRIBBIN, 2013).

Figura 6 – Exemplo de fluxos em canais aberto



Fonte: Gribbin (2013, p. 86)

De acordo com Baptista e Lara (2010), em função da geometria da seção transversal em canais abertos, alguns parâmetros são essenciais para o cálculo hidráulico. Estes parâmetros são descritos a seguir:

- a) área molhada ( $A$ ): definida pela parte da seção transversal que está preenchida por água;
- b) perímetro molhado ( $P$ ): comprimento da seção que está em contato com a água;
- c) largura superficial ( $B$ ): largura da superfície canal em contato com o meio atmosférico;
- d) raio hidráulico ( $R_h$ ): definido pela divisão da área molhada pelo perímetro molhado, expresso na equação a seguir;

$$R_h = \frac{A}{P} \quad (14)$$

- e) profundidade ( $y$ ): altura da água sob o fundo do canal;  
 f) profundidade hidráulica ( $y_h$ ): divisão entre a área molhada e a largura superficial, expresso na equação a seguir.

$$y_h = \frac{A}{B} \quad (15)$$

No projeto hidráulico, conceitualmente, é importante abordar os efeitos de energia. No momento em que a água escoar de forma decrescente, este escoamento será regido pelas leis da física de conservação de energia e de massa. O escoamento em canais, assim como em rios, é representado pela equação da continuidade (16) e pela equação de Bernoulli (18). (GRIBBIN, 2013).

Segundo Gribbin (2013) a água, ao escoar por um canal, mantém a sua massa inicial ao longo do comprimento do canal até o seu final, configurando um escoamento permanente. Assim se dá a conservação de massa baseado na equação (16) conhecida por equação da continuidade.

$$Q = v \cdot A \quad (16)$$

Onde:

$Q$  = vazão do escoamento, em m<sup>3</sup>/s;

$v$  = velocidade, em m/s;

$A$  = área de escoamento, em m<sup>2</sup>.

Considerando um canal com ponto de início e final, a massa e a velocidade do ponto inicial se mantém no ponto final conforme equação a seguir:

$$v_1 \cdot a_1 = v_2 \cdot a_2 \quad (17)$$

$v_1$  = velocidade no ponto 1, em m/s;

$a_1$  = área molhada do canal no ponto 1, em m<sup>2</sup>;

$v_2$  = velocidade no ponto 2, em m/s;

$a_3$  = área molhada do canal no ponto 2, em m<sup>2</sup>.

Quanto à conservação de energia, esta se dá através da equação (18), que considera um fluido perfeito, onde não há atrito no escoamento e a carga de energia segue constante ao longo de todo o escoamento, representando o princípio de Bernoulli. (GRIBBIN, 2013).

$$z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} = cte \quad (18)$$

Onde:

$z$  = altura geométrica;

$p/\gamma$  = energia de pressão;

$v$  = velocidade, em m/s;

$g$  = aceleração da gravidade (9,81 m/s<sup>2</sup>);

$\frac{v^2}{2g}$  = energia cinética.

Entretanto, segundo Gribbin (2013), para uma representação real do escoamento do fluido no canal, o atrito deve ser considerado como energia de perda, por isso no ponto 1 a energia será superior àquela do ponto 2, conforme equação (19):

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + hl \quad (19)$$

Onde:

$z$  = altura geométrica;

$p/\gamma$  = energia de pressão;

$\frac{v^2}{2g}$  = energia cinética;

$hl$  = perda de carga causada por atrito e outros fatores.

Quanto às velocidades, conforme DNIT (2006), cabe observar que de acordo com o revestimento de cada canal existem valores de velocidades máximas admitidas para a água, estes expressos na Tabela 6.

Tabela 6 – Velocidades máximas admitidas para água

<b>Cobertura Superficial</b>	<b>Velocidade máxima (m/s)</b>		
Gramma comum firmemente implantada	1,50	-	1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60	-	1,20
Argila	0,80	-	1,30
Argila coloidal	1,30	-	1,80
Lodo	0,35	-	0,85
Areia fina	0,30	-	0,40
Areia média	0,35	-	0,45
Cascalho fino	0,50	-	0,80
Silte	0,70	-	1,20
Alvenaria de tijolos	2,50		
Concreto de cimento portland	4,50		
Aglomerados consistentes	2,00		
Revestimento Betuminoso	3,00	-	4,00

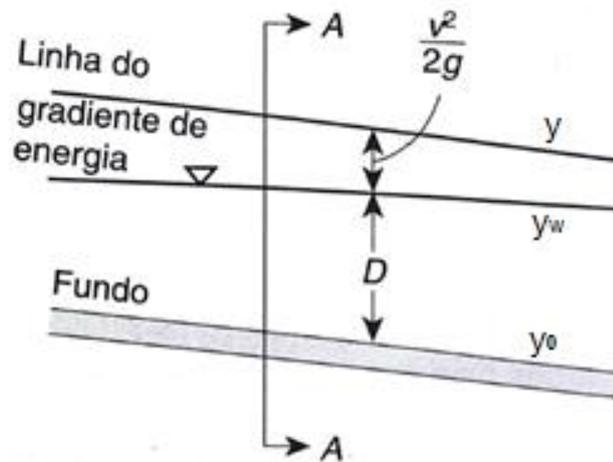
Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 127)

Segundo Gribbin (2013), para projeto hidráulico de canais, deve-se considerar o funcionamento em regimes diferentes de escoamento. Os regimes de escoamento podem ser:

- Regime crítico;
- Regime supercrítico;
- Regime subcrítico.

No momento em que a água escoar por um canal, ela alcançará uma velocidade e uma profundidade. Logo, a água será impulsionada a jusante através de seu peso. Porém, a força de atrito produzida pelo revestimento do canal agirá de forma oposta, criando um equilíbrio e uma velocidade constante conforme Figura 7. (GRIBBIN, 2013).

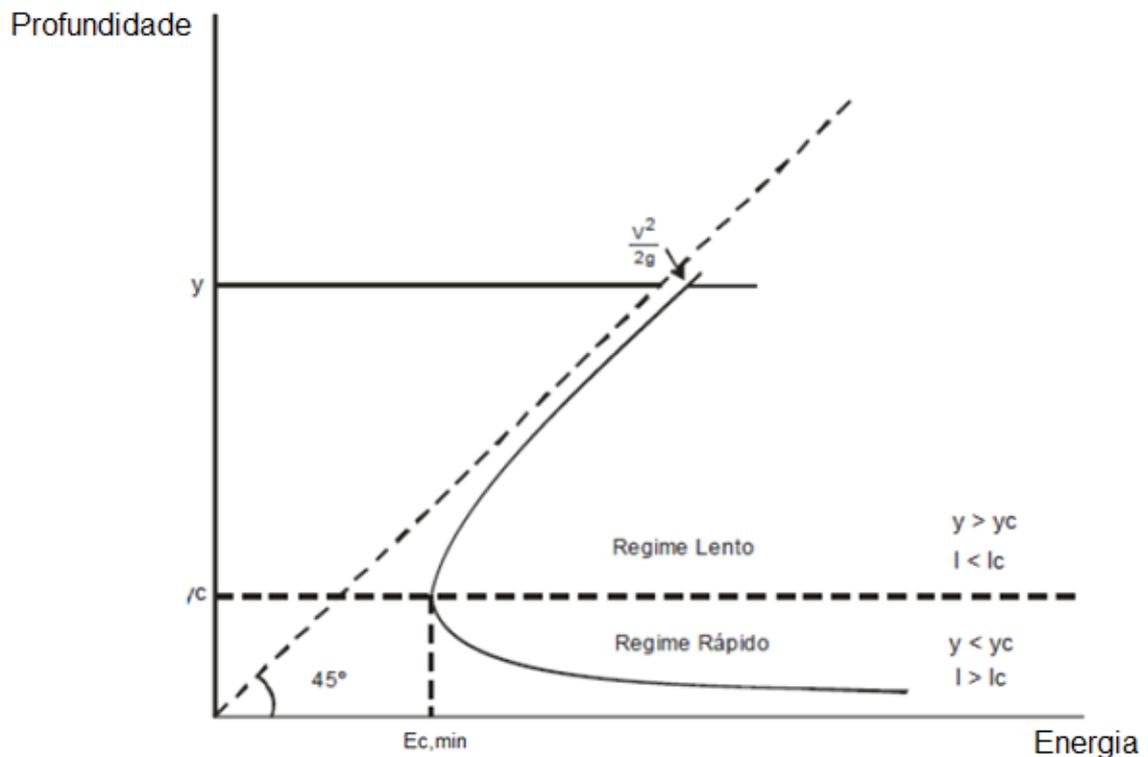
Figura 7 – Relação da declividade com o gradiente de energia



Fonte: Gribbin (2013, p. 86)

Sendo assim, relaciona-se a carga de energia total com as variações de profundidade do canal para uma vazão constante, conforme apresentado na Figura 8.

Figura 8 – Diagrama de energia específica



Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 35)

Através da Figura 8, observa-se que a profundidade crítica é um valor particular de  $y$  (representado como  $y_c$  no gráfico) que resultará em um valor mínimo de energia. Entretanto a  $y_c$  (profundidade crítica) não depende da declividade e da rugosidade do revestimento, sendo, portanto, um valor teórico, que servirá para a definição dos regimes de escoamento. Por definição, sempre um escoamento é considerado subcrítico quando as profundidades superarem os valores da profundidade crítica, configurando um escoamento lento. Quando os valores de profundidade estiverem abaixo da profundidade crítica, este estará em regime supercrítico, configurando um escoamento rápido. Para os casos onde a profundidade coincidir com a profundidade crítica, o escoamento estará em regime crítico. (GRIBBIN, 2013).

O número de Froude ( $F$ ) é um parâmetro que pode ser utilizado para diferenciar os regimes de escoamento. Em um canal retangular, o número de Froude ( $F$ ) é definido como (GRIBBIN, 2013):

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y}} \quad (20)$$

Onde:

$F$  = número de Froude, adimensional;

$v$  = velocidade média, em m/s;

$g$  = aceleração da gravidade, usualmente 9,81 m/s<sup>2</sup>;

$y$  = profundidade do escoamento, em m.

Portanto a partir do número de Froude, a definição do regime de escoamento se dará da seguinte forma (GRIBBIN, 2013):

- Se  $F = 1$ : escoamento é crítico;
- Se  $F < 1$ : escoamento é subcrítico;
- Se  $F > 1$ : escoamento é supercrítico.

A determinação da lâmina crítica ( $y_c$ ), pode ser realizada a partir da equação (21) através de um cálculo iterativo em função das dimensões do canal, onde o

valor de profundidade que satisfaz a equação equivale a lâmina crítica. (BAPTISTA; LARA, 2010).

$$Q^2 \cdot B = g \cdot A^3 \quad (21)$$

Onde:

$Q$  = vazão, em  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

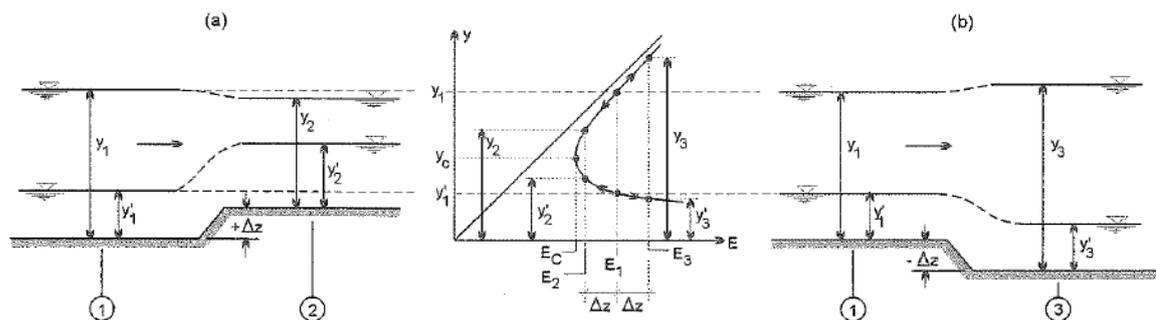
$B$  = base maior, em m;

$g$  = aceleração da gravidade, usualmente  $9,81 \text{ m/s}^2$ ;

$A$  = área da seção, em  $\text{m}^2$ .

Em conjunto com as considerações quanto ao regime de escoamento cabe analisar as transições, como sendo uma aplicação dos conceitos de energia para canais. A consideração das transições verticais pode ser realizada através da análise dos valores de energia específica, pois alteram o regime de funcionamento do canal gerando uma seção de controle. Esta situação pode ser visualizada na Figura 9, considerando a variação dos valores de energia e em função da variação dos valores de lâminas. (BAPTISTA; LARA, 2010).

Figura 9 – Transições Verticais



Fonte: Baptista e Lara (2010, p. 217)

Para os casos em que ocorre transição a montante (contração) esta pode ser calculada através da equação (22) adotando um coeficiente de perda de carga localizada, seção inicial e final do canal. (BAPTISTA; LARA, 2010).

$$\Delta h_t = C \left( \frac{v_1^2}{2g} - \frac{v_2^2}{2g} \right) \quad (22)$$

Onde:

$\Delta h_t$  = perda de carga na transição, em m;

$C$  = coeficiente de perdas, usualmente de 0,1 a 0,3 para contração;

$v$  = velocidade, em m/s;

$g$  = aceleração da gravidade, usualmente 9,81 m/s<sup>2</sup>.

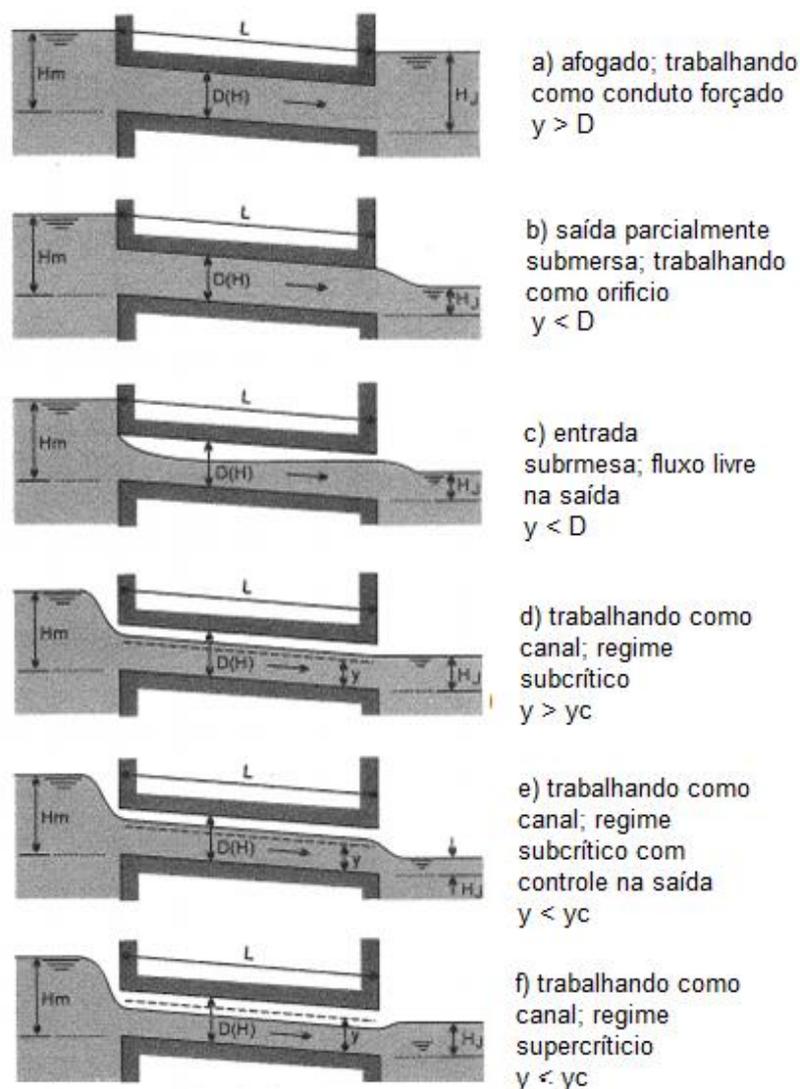
Os conceitos de hidráulica em canais abertos são fundamentais, pois a condição de escoamento em rios, assim como em canais, é base para o estudo hidráulico de bueiros, pontilhões e pontes, assim como o entendimento e aplicação dos critérios de cada um.

### 2.5.1 Critérios para Projetos de Bueiros

No projeto de um bueiro devem ser realizados estudos quanto à topografia do local, análise da declividade, estudos geotécnicos e de fundações para avaliação da capacidade do terreno natural e definição do comprimento do bueiro. O principal objetivo do projeto de bueiros é a determinação das suas dimensões para que a vazão admitida seja superior à vazão de projeto, definida através dos estudos hidrológicos. (DNIT, 2006).

Assim como em canais, os bueiros também têm a possibilidade de trabalhar em diferentes regimes de escoamento, conforme apresentado na Figura 10. Por isso é fundamental a determinação do regime de funcionamento do bueiro para realização do projeto. (BAPTISTA; LARA, 2010).

Figura 10 – Condições de funcionamento hidráulico de bueiros



Fonte: Adaptado de Baptista e Lara (2010, p. 359)

De acordo com DNIT (2006), a escolha do regime de funcionamento de um bueiro dependerá da possibilidade de trabalhar com carga hidráulica a montante, ou não, o que pode ser prejudicial à rodovia, como nos casos de elevação do nível máximo d'água, causando danos ao pavimento e inundação a montante.

O dimensionamento de bueiros pode ser realizado considerando que o mesmo possa trabalhar como canal, orifício ou conduto forçado, verificando-se a possibilidade de ser aplicável o modelo de vertedouro na entrada e na saída da estrutura, dependendo do comportamento da linha d'água. Geralmente, a escolha ideal será o funcionamento do bueiro como canal, sem considerar a carga hidráulica a montante (condições *d*, *e* e *f* da Figura 10). Se essa opção não for possível, deve-

se adotar algumas das outras opções de funcionamento. Entretanto, mesmo em bueiros funcionando como canais, deve-se realizar a verificação da altura do nível d'água a jusante e a montante. Para esta verificação deve-se adotar um tempo de recorrência superior ao tempo de recorrência adotado em projeto. (DNIT, 2006)

Por isso é fundamental observar que DNIT (2006, p. 27),

Não sendo possível a carga a montante, o bueiro deve trabalhar livre como canal.

Por outro lado caso a elevação do nível d'água a montante não traga nenhum risco ao corpo estradal, ou a terceiros, o bueiro pode ser dimensionado como orifício, respeitando-se, evidentemente, a cota do nível d'água máximo a montante.

Logo, não sendo possível considerar o dimensionamento do bueiro funcionando canal, pode-se admitir o funcionamento como orifício (condições *b* e *c* da Figura 10). Para esta condição, onde o nível d'água a montante supera a altura, ou o diâmetro do bueiro, considera-se que o bueiro está trabalhando “em carga”, funcionando então como orifício. (BAPTISTA; LARA, 2010).

Os bueiros ainda podem ser dimensionados funcionando como condutos forçados, quando os níveis d'água a jusante e a montante superarem a altura ou o diâmetro, para estes casos considera-se que o bueiro está trabalhando “afogado” (condições *a* e *b* da Figura 10). Por fim, ainda em relação a Figura 10 (condição *b*), o conduto pode trabalhar tanto como orifício na seção a jusante como conduto forçado em função do parâmetro  $L/D$ , onde  $L$  é o comprimento do bueiro e  $D$  a dimensão vertical (diâmetro ou altura). (BAPTISTA; LARA, 2010).

Portanto, segundo Baptista e Lara (2010), a determinação do regime de escoamento pode ser obtida através da comparação da declividade crítica, representada na Figura 10 como a linha tracejada, com a declividade de assentamento. A declividade crítica pode ser obtida através das seguintes expressões:

- Bueiros tubulares:

$$I_c = 32,82 \cdot \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad (23)$$

- Bueiros celulares:

$$I_c = \frac{2,6 \cdot n^2}{\sqrt[3]{H}} \cdot \left(3 + \frac{4H}{B}\right)^{4/3} \quad (24)$$

Para os casos em que o bueiro estiver funcionando como canal, o dimensionamento irá considerar duas opções (DNIT, 2006):

- a) funcionamento no regime supercrítico ou crítico: o dimensionamento baseia-se na premissa de que a energia específica deve ser igual ao diâmetro ou altura do bueiro, exigindo proteção a montante e a jusante para evitar riscos de erosão;
- b) funcionamento no regime subcrítico.

Aplicando equação de Manning (25) para determinação da vazão, encontram-se algumas variáveis, de acordo com a sua natureza (BAPTISTA; LARA, 2010):

- Geométricas: área da seção e raio hidráulico, que são fatores em função da profundidade do escoamento;
- Hidráulicas: vazão, coeficiente de rugosidade e declividade.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot A \sqrt{I} \quad (25)$$

Sendo:

$Q$  = vazão, em m<sup>3</sup>/s;

$A$  = área da seção, em m<sup>2</sup>;

$Rh$  = raio hidráulico, em m;

$n$  = coeficiente de manning, em m<sup>-1/3</sup>;

$I$  = declividade, em m/m;

Na determinação das grandezas hidráulicas, conforme DNIT (2006) a definição do coeficiente de rugosidade ( $n$ ) para estruturas em concreto é um valor fixo, expresso na Tabela 7.

Tabela 7 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para concreto

Material	Tipo	n
Concreto	Tubos	0,015
	Células	

Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 110)

Portanto, de acordo com Baptista e Lara (2010), apresentadas as condições para projeto hidráulico de bueiros, cabe ressaltar que quanto à velocidade de escoamento, em bueiros de concreto, esta deverá respeitar uma limitação máxima de 4,5m/s. Assim, é importante ressaltar que na verificação de obras existentes, pode-se considerar certa carga hidráulica a montante, desde que a mesma não prejudique a estabilidade do aterro e áreas adjacentes passíveis de serem inundadas em caso de funcionamento em carga.

Segundo Baptista e Lara (2010), deve-se adotar uma folga de 20% para que o bueiro trabalhe em uma profundidade de fluxo de 80% de diâmetro (bueiros tubulares) ou altura (bueiros celulares). Portanto adota-se a seguinte relação  $y/D = 0,80$  onde  $y$  é a profundidade e  $D$  é a dimensão vertical (diâmetro ou altura).

Em conjunto com as considerações quanto a energia específica, nos projetos de bueiros também é necessário avaliar as mudanças de regime de escoamento devido ao estrangulamento do fluxo. Nestes casos, em um bueiro funcionando em regime subcrítico, que é o regime sugerido para bueiros funcionando como canais, pode ocorrer uma redução da altura da lâmina, e também uma alteração no valor da energia para que o escoamento permaneça nas mesmas condições. Nos casos em que a energia específica a montante é inferior a energia crítica na nova seção ocorre o estrangulamento da seção e, ainda, uma eventual alteração no regime de escoamento, pois, é necessário um ganho de energia para superar o obstáculo. Este ganho de energia é obtido através da elevação do nível de água a montante gerando um regime de escoamento crítico que passa a atuar como uma seção de controle no bueiro. (BAPTISTA; LARA, 2010).

Os bueiros também devem atender ao critério do DNIT (2006) quanto ao dimensionamento hidráulico em regime supercrítico ou crítico para bueiros funcionando hidráulicamente como canais. Para tanto, o dimensionamento baseia-se

na premissa de que o menor valor de energia específica deve ser igual à altura do bueiro. Nesta situação, a vazão máxima admissível é a vazão crítica.

### 2.5.2 Critérios para Projetos de Pontes e Pontilhões

De acordo com DNIT (2005), no projeto de pontes é necessário considerar diversos fatores que influenciarão no seu desempenho. Do ponto de vista hidráulico, o principal deles é a fixação do nível da superestrutura, que depende da determinação do nível máximo d'água, que é função da vazão máxima (ou descarga de projeto). A fixação do nível da ponte evita que a mesma fique submersa, ou até mesmo que sua estrutura seja prejudicada por enchentes.

Usualmente, considera-se uma folga entre o nível máximo d'água e a face inferior da longarina, sendo necessário um mínimo de 1,00 metro, a fim de permitir que em casos de enchentes, ocorra a passagem livre do curso d'água. Em casos de águas navegáveis, poderão ser exigidos valores maiores folga. (DNIT, 2005).

O nível d'água máximo pode ser determinado a partir de dados de postos fluviométricos, localizados próximos a obra, através da relação cota-descarga. Entretanto na maioria dos casos, por se tratarem de bacias menores de pouca importância hidrológica, localizadas em estradas vicinais, estes postos são inexistentes. Para isso faz-se uso das fórmulas de cálculo hidráulico para canais abertos a partir das descargas obtidas por simulações hidrológicas. (DNIT, 2005).

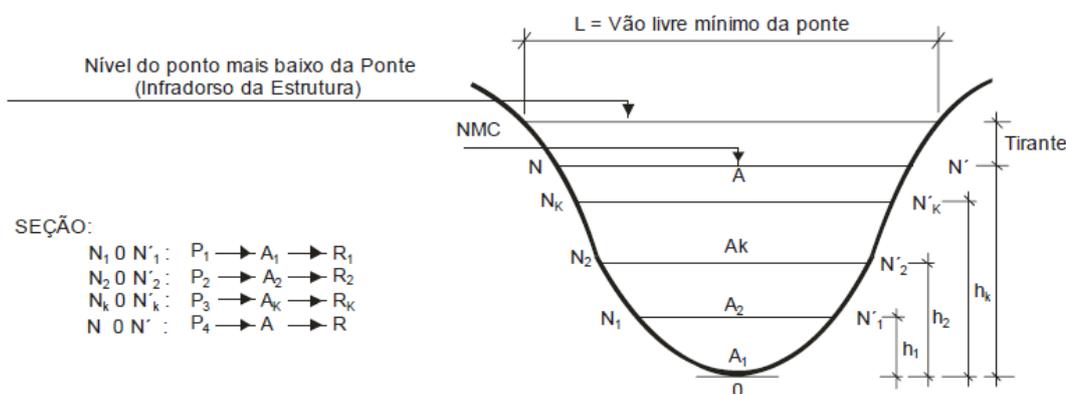
Conforme DNIT (2006), no dimensionamento de pontes será necessário obter os seguintes elementos:

- Vazão de projeto: prevista através dos estudos hidrológicos considerando o tempo de recorrência e os modelos de chuva-vazão recomendados para o local escolhido;
- Declividade do leito: determinada a partir de dois pontos com distância entre si de, no mínimo, 200m. Um ponto deverá estar localizado a montante enquanto o outro deverá estar a jusante do eixo da rodovia, dos quais devem estar distantes 100m cada um. Deverão estar localizados um a jusante e outro a montante do eixo da rodovia, onde deverão estar distantes 100m cada um;

- Levantamento das seções na direção do corpo hídrico: essas seções deverão estar localizadas na passagem, pelo eixo da rodovia, a jusante e a montante;
- Determinação do coeficiente de Manning: após inspeção local do curso d'água.

Conforme a Figura 11, para cada altura do nível d'água ( $y$ ) relaciona-se um valor de área molhada ( $A$ ), um valor de perímetro molhado ( $P$ ), e por consequência, um valor de raio hidráulico ( $R_h$ ) e uma velocidade ( $v$ ). (DNIT, 2006):

Figura 11 – Seção transversal de um canal



Fonte: DNIT (2006, p. 132)

Aplicando-se um rearranjo da equação de Manning (25), em qualquer nível d'água de uma ponte, obtém-se deste modo a equação (26). (DNIT, 2006).

$$AR^{\frac{2}{3}} = \frac{Q \cdot n}{I^{\frac{1}{2}}} \quad (26)$$

Onde:

$A$  = área molhada da seção;

$R$  = raio hidráulico;

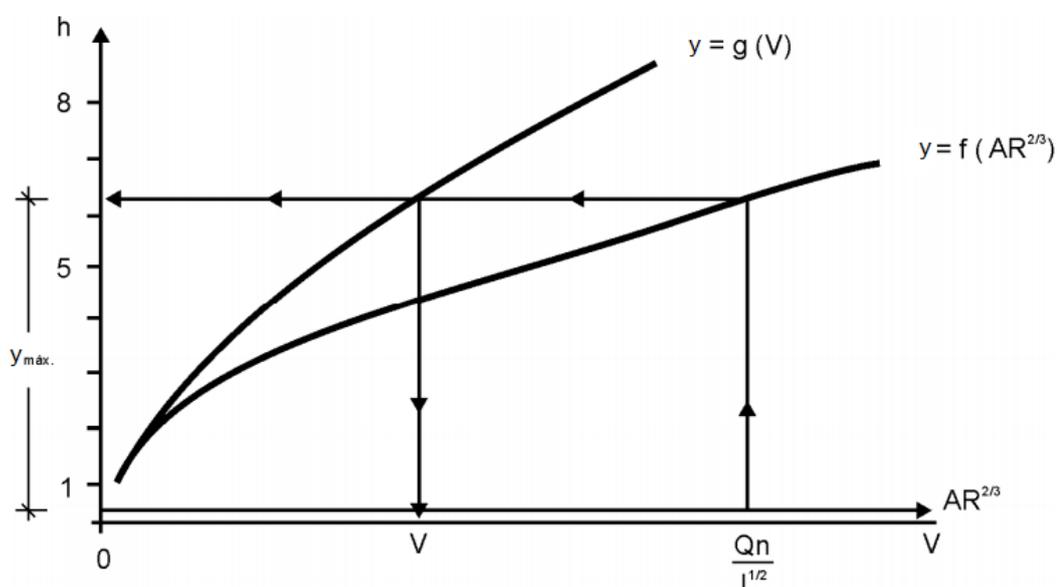
$Q$  = vazão de escoamento;

$n$  = coeficiente de rugosidade.

$I$  = declividade do leito do rio ou do canal.

Para a determinação do vão da ponte considerando que  $I$  e  $n$  possuem valores constante, e independentes do nível d'água, pode-se verificar que os valores de  $V$  e  $Q$  são função apenas da altura do nível d'água ( $y$ ). Portanto, a partir da variação dos valores de ( $y$ ) traçam-se duas curvas, em duas escalas, onde no eixo das abscissas estão os valores de  $V$  e  $AR^{2/3}$ , e no eixo das ordenadas estão os valores de ( $y$ ). Essa metodologia está expressa na Figura 12.

Figura 12 – Relação das curvas que relacionam lâminas d'água, vazões e declividades para a definição do vão livre de pontes de pontilhões .



Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 133)

Em vista disto, após a concepção estrutural de uma ponte, deve ser confirmada a seção de projeto, verificando se a largura e forma dos pilares serão suficientes para suportar a enchente de projeto, com a finalidade de verificar a ocorrência de níveis máximos d'águas que possam comprometer a estrutura como um todo. (DNIT, 2005).

Os valores de coeficiente de rugosidade de Manning para aplicação da equação de Manning (25) estão apresentados na Tabela 8, onde os valores variam de acordo com a seção, as condições em relação ao tipo de solo e a cobertura vegetal do trecho analisado. (DNIT, 2006).

Tabela 8 – Valores de coeficiente de rugosidade de Manning para canais naturais

<b>Arroios Menores (largura à superfície no estágio de inundação menor que 30,00 m)</b>			
<b>Curso d'água natural</b>			
Cursos d'água em região plana			<i>n</i>
Limpo, regular, cheio e de fundo regular	0,025	a	0,030
Idem, mas com pedras e vegetação	0,030	a	0,035
Limpo sinuoso, algumas piscinas e bancos de areia	0,033	a	0,040
Idem, alguma vegetação e pedras	0,035	a	0,045
Alguma vegetação, plantas livres nas margens	0,040	a	0,048
Alguma vegetação, plantas pesadas nas margens	0,050	a	0,070
Correntes muito lentas, cheias de plantas e piscinas profundas	0,050	a	0,080
Para árvores dentro do canal com ramos submersos no estágio alto todos os valores acima devem ser acrescidos de	0,010	a	0,020
Para seção irregular, com charcos, meandros suaves aumente os valores acima de	0,010	a	0,020
Correntes montanhosas sem vegetação no canal, margens íngremes árvores e plantas ao longo das margens submersas no alto estágio			<i>n</i>
Fundo de cascalho, seixo rolado e poucos matacões	0,040	a	0,050
Fundo de seixos com grandes matacões	0,050	a	0,070
<b>Várzeas (adjacentes ao curso d'água natural)</b>			
Pastos sem arbustos			<i>n</i>
Capim baixo	0,025	a	0,030
Capim alto	0,030	a	0,040
Áreas cultivadas			<i>n</i>
Limpo, regular, cheio e de fundo regular	0,025	a	0,030
Idem, mas com pedras e vegetação	0,030	a	0,035
Vegetação rasteira não alinhada	0,040	a	0,050
Mato cerrado, arbustos dispersos	0,050	a	0,070
Arbustos pequenos e árvores	0,050	a	0,080
Vegetação de média e densa	0,070	a	0,110
Árvores de grande porte			<i>n</i>
Limpo, regular, cheio e de fundo regular	0,025	a	0,030
Idem, mas com pedras e vegetação	0,030	a	0,035
Idem, mas com grande crescimento de renovos	0,060	a	0,080
Arvoredo denso, algumas árvores baixas, pouca vegetação rasteira estágio caudaloso sob os ramos	0,100	a	0,120
Idem, mas com o estágio caudaloso atingindo os ramos	0,120	a	0,160
<b>Arroios Maiores (largura à superfície no estágio de inundação maior que 30,00 m)*</b>			
Qualquer curso d'água			<i>n</i>
Limpo, regular, cheio e de fundo regular	0,025	a	0,030
Idem, mas com pedras e vegetação	0,030	a	0,035

\* O valor de *n* é menor que aqueles para arroios menores uma vez que as margens são relativamente menos influentes

Fonte: Adaptado de DNIT (2006, p. 127)

### 3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho teve início nas inspeções “in loco” realizadas nas estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas no município de Taquari-RS, local do presente trabalho. Estas inspeções foram embasadas nos requisitos descritos no item 2.3. A análise destes requisitos e coleta de dados de todas as estruturas possibilitaram uma breve avaliação das mesmas e a escolha das três estruturas que melhor representam a situação atual das estruturas no local.

Logo, este capítulo apresenta a metodologia utilizada no presente trabalho, assim como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Fluxograma da execução da metodologia



Fonte: Elaborado pela autora.

#### 3.1 Local de Estudo

Como estudo de caso para aplicação do presente trabalho, considerou-se a cidade de Taquari/R.S. A cidade está localizada no vale do Taquari, região central do estado do Rio Grande do Sul, e leva o nome do principal rio do vale, o Rio Taquari. O rio Taquari, que banha a cidade, faz parte da bacia Taquari-Antas, e sua bacia possui uma área de 26.428 km<sup>2</sup>.

Nesse estudo, foram analisadas as estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas nas estradas vicinais do município, sendo elas bueiros, pontes e pontilhões. O município possui 23 estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas nas estradas vicinais, transpondo arroios no interior do município. Na Tabela 9 foram apresentadas sua localização e o tipo de estrutura.

Tabela 9 – Cadastro das estruturas de transposição de talvegues no município de Taquari/RS

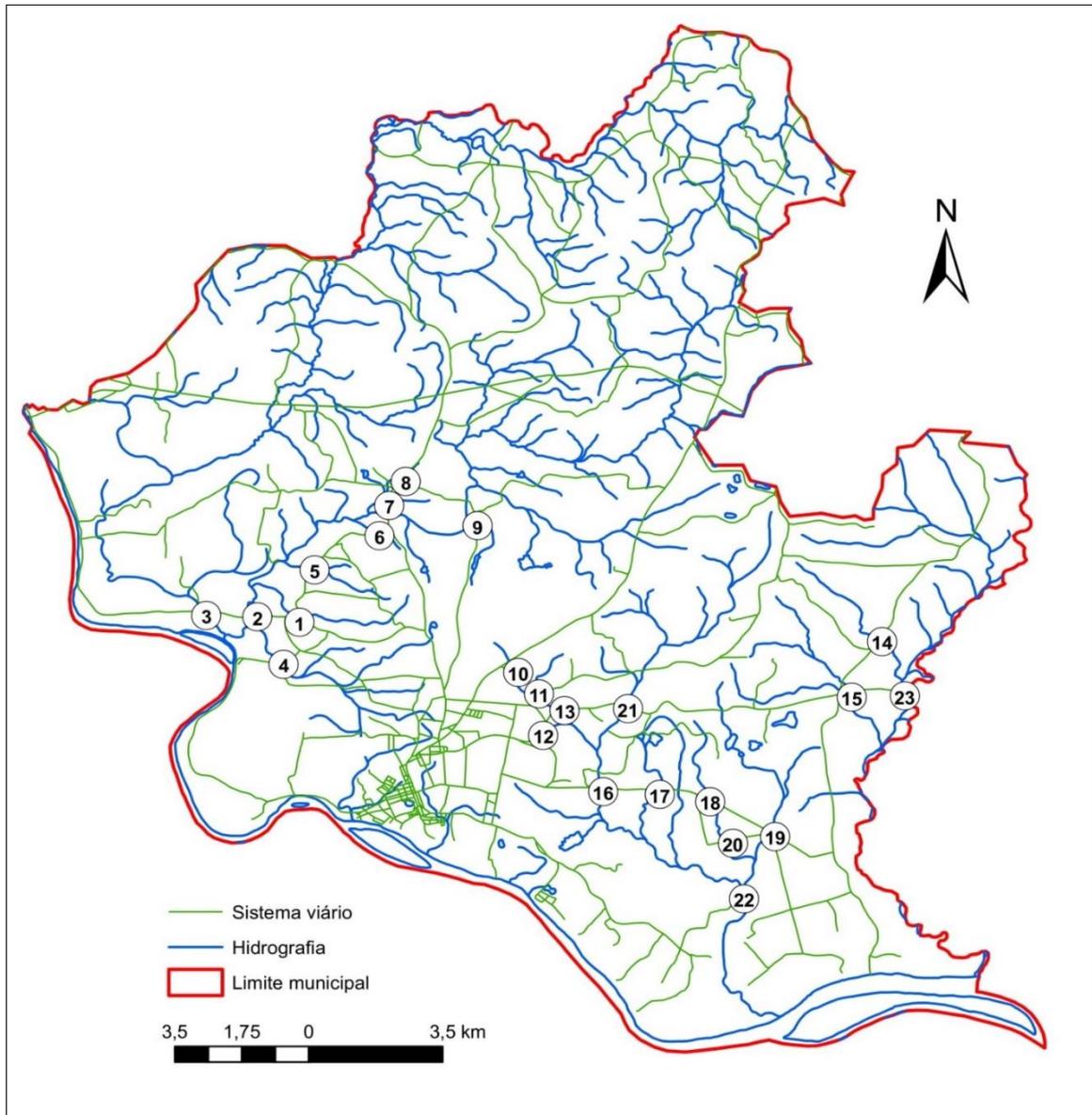
<b>Número</b>	<b>Tipo de Estrutura</b>	<b>Estrada</b>
1	Bueiro	VRS 868
2	Ponte	VRS 868
3	Ponte	VRS 868
4	Pontilhão	TK 32
5	Pontilhão	TK 32
6	Pontilhão	TK 32
7	Pontilhão	TK 36
8	Pontilhão	TK 36
9	Bueiro	TK 40
10	Pontilhão	TK 09
11	Pontilhão	TK 09
12	Bueiro	TK 09
13	Pontilhão	TK 09
14	Pontilhão	VRS 039
15	Pontilhão	VRS 039
16	Bueiro	TK 02
17	Bueiro	TK 02
18	Pontilhão	TK 02
19	Bueiro	TK 01
20	Bueiro	TK 04
21	Bueiro	VRS 039
22	Pontilhão	TK 01
23	Ponte	VRS 039

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 14 apresenta um mapa, realizado a partir da base cartográfica vetorial contínua do IBGE (2018), com a localização de todas as estruturas

inspecionadas e a representação do sistema viário e hidrográfico do município de Taquari.

Figura 14 – Mapa de localização das estruturas inspecionadas



Fonte: Elaborado pela autora.

É importante salientar que neste trabalho não foram avaliadas integral e detalhadamente todas as estruturas de transposição de talvegues no município de Taquari quanto ao dimensionamento hidráulico e hidrológico. Porém, baseando-se nas inspeções “in loco” e nos cadastros realizados, buscou-se avaliar estruturas consideradas representativas para avaliar a situação do município quanto à

drenagem rodoviária, mais especificamente às estruturas de transposição de talvegues.

### 3.2 Critérios para a Escolha das Estruturas Analisadas

A escolha das estruturas se deu a partir da inspeção “in loco” realizada com as fichas de inspeção confeccionadas pela autora baseado nos requisitos descritos no item 2.3. O modelo de ficha de inspeção utilizado está apresentado na Figura 15.

Figura 15 – Ficha de inspeção das estruturas

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: _____	
<b>1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO</b>	<b>8. FOTOGRAFIAS DA VISITA</b>
Nome: _____	
Número de Identificação: _____	
Natureza da Transposição:	<input type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada): _____	
<b>2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES</b>	
Comprimento: _____ metros;	
Largura: _____ metros;	
<b>3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS</b>	
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:</b>	
Largura Total da Pista: _____ metros	
Nº de faixas: _____	
Pavimento: _____	
<b>3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO</b>	
Tipo de seção: _____	
Nº de linhas: _____	
Material Empregado na Construção: _____	
Nomenclatura: _____	
<b>4. OUTROS ASPECTOS</b>	
Lamina d'água: ~ _____ metros	
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
<b>5. AVALIAÇÃO FINAL</b>	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM

Fonte: Elaborado pela autora.

Além dos dados básicos de cada estrutura como localização e levantamento das seções foram coletados outros aspectos particulares a cada uma. A avaliação da condição do meio ambiente agressivo é fundamental para o prolongamento da vida útil das estruturas, considerando que estruturas em ambientes agressivos estão suscetíveis a patologias e deteriorações.

Nesta inspeção, a análise do regime do rio avaliou a direção da correnteza, seu escoamento e velocidade, de forma simplificada, obtendo desta forma a condição torrencial ou não do arroio estudado. A análise da erosão no leito refere-se a segurança das estruturas devido a transporte de materiais ocasionado pela erosão que prejudica a vida útil das estruturas. Nesta inspeção buscou-se avaliar o tipo de solo e a condição do solo adjacente às estruturas, analisando o processo de retirada e transporte de sedimentos na superfície.

As três estruturas escolhidas constam de um bueiro, um pontilhão e uma ponte e foram aquelas que representaram, de forma geral, a situação atual das estruturas de drenagem de transposição de talwegues nas estradas vicinais no município de Taquari/RS.

Os critérios para escolha, além da representatividade em termos de situação em que se encontram, dado que a maioria destas estruturas se encontram em condições precárias, referem-se, por exemplo, a itens analisados como forma, seção, relatos de usuários da via sobre problemas na estrutura, tráfego na estrada, entre outros.

Em bueiros o principal critério para a escolha foi em relação a sua classificação, quanto à forma da seção, ao número de linhas e ao material empregado na sua construção. Enquanto a escolha da ponte e do pontilhão foi relacionada a relatos da comunidade em geral que utiliza a estrada, algumas das estruturas se encontram em péssimas condições estruturais, onde por muitas vezes, o tráfego nas mesmas foi interrompido causando prejuízos a quem necessita trafegar no local. Também foi considerado como critério o principal material empregado na sua construção e as suas dimensões.

### 3.3 Características Fisiográficas das Bacias de Contribuição

As estruturas analisadas estão situadas nas estradas vicinais, localizadas no interior do município. Os cursos d'águas, como já mencionado, são arroios.

A determinação das características das bacias estudadas foi realizada através de ferramentas de geoprocessamento, a partir de dados de satélite. Para dado de elevações foi utilizado o modelo digital de elevação do SRTM no formato GEOTIFF e arquivo vetorial em formato shape\_file específico para o estado do Rio Grande do Sul, obtido no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Em posse do arquivo completo do estado, a partir das coordenadas dos pontos, o arquivo foi recortado para o município de Taquari.

Quanto às características de solo da região, os solos da cidade de Taquari/RS, de acordo com DRH/SEMA (2012), possui solos do tipo argissolos. Sendo assim, conforme o enquadramento dos solos descrito no item 2.4.2, o solo do tipo argilossolo faz parte do grupo C, para aplicação do método CN-SCS.

O uso do solo e a cobertura vegetal nas áreas de estudo foram estimados por visitas "in loco" e fotointerpretação.

A definição do tipo e uso de solo é um fator fundamental para definição do valor dos coeficientes que expressam o comportamento da bacia na formação do escoamento como o CN (método SCS) e o coeficiente de escoamento (método racional corrigido). Portanto, o enquadramento do tipo e uso do solo foi realizado através da Tabela 3, para o método racional, e da Tabela 5 para o método SCS.

### 3.4 Verificação Hidrológica das Estruturas de Transposição de Talvegues

A verificação hidrológica parte da análise da precipitação de projeto (ou chuva de projeto) e das vazões máximas. Em relação à determinação da chuva de projeto, esta foi fundamentada nos conceitos descritos no item 2.4.1. O tempo de concentração foi determinado a partir da equação (1) apresentada por Chow (1962 *apud*. Silveira, 2005). Adotou-se a duração da chuva como sendo o tempo de concentração. A IDF para o município de Taquari/RS foi determinada a partir da equação genérica (2), e os parâmetros que são variáveis de acordo com cada região, foram substituídos por aqueles apresentados na Tabela 2.

O levantamento das seções das estruturas avaliadas foi realizado através das fichas confeccionadas para a inspeção das estruturas.

Quanto à determinação da vazão de projeto das bacias contribuintes, a metodologia foi realizada através dos modelos de chuva-vazão descritos no item 2.4.2. A escolha do método adotado levou em consideração a área da bacia, sendo a seguinte:

- a) Em bacias com áreas de até 10km<sup>2</sup> - método racional corrigido e método SCS-HUT;
- b) Em bacias com áreas superiores a 10km<sup>2</sup> - método SCS-HUT.

Com isso, a metodologia de verificação hidrológica das estruturas foi baseada na análise do tempo de retorno. Para bueiros o tempo de retorno usual para a vazão de projeto é de 25 anos e de 50 anos para verificação da carga hidráulica a montante, enquanto que para pontes e pontilhões o tempo de retorno de projeto é igual a 100 anos. Sendo assim, admitiram-se esses valores de tempo de retorno para cálculo dos hidrogramas de projeto. A partir dos hidrogramas obtidos, foi avaliado o comportamento de cada estrutura para as vazões.

Logo, a verificação hidrológica foi realizada através da comparação da vazão máxima obtida nos estudos hidrológicos com a vazão obtida na verificação hidráulica. Ao final, se alguma das estruturas não se encontrava funcionando no tempo de retorno adequado, foi estimado o tempo de retorno admitido pela mesma.

### **3.5 Verificação Hidráulica das Estruturas de Transposição de Talwegues**

A verificação hidráulica de estruturas de drenagem de transposição de talwegues envolve a determinação da carga hidráulica a montante da estrutura, da lâmina d'água no seu interior e das velocidades a montante, jusante e no seu interior.

Assim a estrutura deve suportar a vazão de projeto determinada nos estudos hidrológicos. A avaliação das estruturas foi baseada nas fórmulas, e requisitos, descritos nos itens 2.5.1 e 2.5.2. Esta verificação foi fundamentada nos conceitos de fluxo em canais abertos e conceitos de hidrodinâmica apresentados no item 2.5.

Em bueiros, a metodologia de avaliação foi realizada considerando o funcionamento como canal (condições  $d$ ,  $e$ , e  $f$  da Figura 10) estabelecendo as condições de regime de funcionamento. Com isso foi determinada a carga hidráulica a montante, a partir da verificação adotando um tempo de retorno superior, assim como o valor da lâmina d'água e as velocidades admitidas no bueiro.

A equação de Manning (25) foi utilizada para determinar a vazão suportada pelo bueiro a partir das condições de seção, diâmetro (em bueiros tubulares) e largura (em bueiros retangulares), rugosidade e condições de declividade. Sendo assim, um bueiro será eficiente quando a vazão admitida por ele for superior à vazão de projeto. Cabe ressaltar que os estudos hidrológicos forneceram a vazão de projeto que precisa ser drenada pelo dispositivo, enquanto os estudos hidráulicos resultaram na vazão suportada pelo dispositivo.

Caso a vazão admitida pelo bueiro no dimensionamento, com as suas condições de funcionamento específicas, seja menor que a vazão de projeto, este possui insuficiência hidráulica. Nestes casos, o bueiro deve ser redimensionado adotando outras condições para que seja suficiente do ponto de vista hidráulico.

Portanto, a metodologia de avaliação hidráulica deste estudo para bueiros, foi a obtenção da vazão de projeto através do item 2.4.2 para condições específicas das bacias de estudo e a comparação com vazão admitida pelo bueiro encontrada através da equação (25). Caso a estrutura caracterize insuficiência hidráulica, avalie-se a falha da estrutura, definindo-se qual tempo de retorno é suportado pela estrutura nas condições atuais, e conceber soluções para a estrutura.

Em pontes e pontilhões, foi determinado o nível máximo de água a partir das características dimensionais da estrutura fixando uma folga de 1,00m da face da longarina inferior, através da equação de Manning (equação (25) com os coeficientes de rugosidade expressos na Tabela 8) e dos conceitos descritos no item 2.5. Caso a estrutura não atenda aos critérios de projeto descritos no item 2.5.2, definir qual o tempo de retorno suportado pela estrutura e conceber soluções.

Conforme apresentado na Figura 11, relacionando as equações (25) e (16) obtém-se os valores de níveis máximos de água para cada valor de vazão, determinando assim as lâminas de água e as velocidades em cada trecho.

Apesar do efeito de remanso ser imprescindível na avaliação de estruturas de transposição de talvegues, pois influencia nos valores finais, como limitação deste

estudo desconsiderou-se o possível efeito de remanso provocado pelo rio Taquari nas estruturas avaliadas.

Contudo, considerou-se esta simplificação adequada devido à grande distância entre as estruturas analisadas e o Rio Taquari, o que deverá resultar efeitos de remanso praticamente desprezíveis.

## 4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O capítulo em questão tem como objetivo apresentar e analisar os resultados obtidos neste trabalho, através da análise hidrológica e hidráulica das estruturas em forma de estudo de caso de cada uma delas.

### 4.1 Diagnóstico Civil das Estruturas e Escolha das Estruturas Tipificadas

Após visitar todas as estruturas foi possível diagnosticar brevemente, através das fichas de inspeção, conforme modelo da Figura 15. Foram vistoriadas no total 23 estruturas listadas na Tabela 9, essa vistoria foi realizada através do modelo de ficha de inspeção apresentada na Figura 15.

Essa inspeção foi baseada nos conceitos descritos no item 2.3, e serviu para escolher as três mais representativas, assim como visualizar a real situação das estruturas de drenagem de transposição de talvegues localizadas nas estradas vicinais no município de Taquari-RS.

As estruturas, em sua maioria, encontram-se em condições precárias e não satisfazem os requisitos básicos como funcionalidade e segurança, pois expõem os usuários a diversos riscos. Dentre as estruturas visitadas verificou-se, na maioria delas, a presença de patologias, que prejudicam sua vida útil.

A Fotografia 1 apresenta as fissuras encontradas no Bueiro nº 21, e também descolamento do corpo do bueiro de alvenaria.

Fotografia 1 – Detalhe de patologias no bueiro nº 21



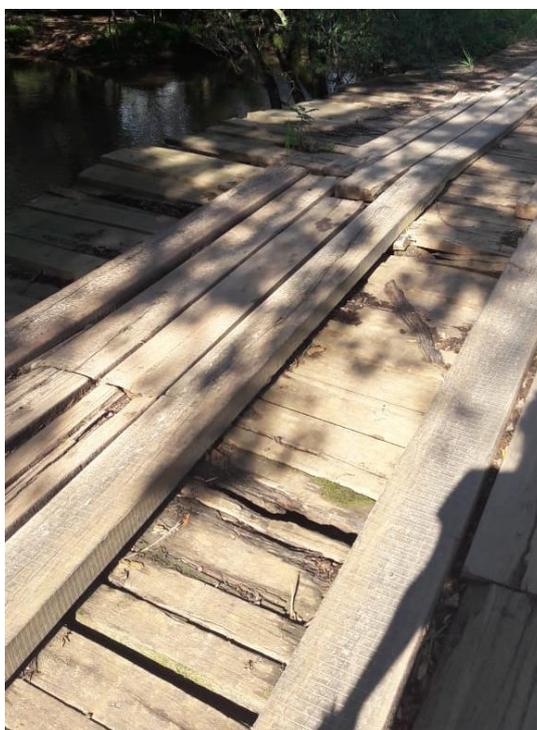
Fonte: Registrada pela autora.

Pfeil (1983) afirma que estas fissuras em estruturas de alvenaria de pedra podem ser provocadas devido recalque da fundação ou aplicação de cargas concentradas excessivas na parte superior.

O acúmulo de vegetação e restos de construção também prejudica a funcionalidade dos bueiros, pois impede o fluxo de água. Esta situação pode ser visualizada em diversos bueiros visitados, nas fotografias que constam nas fichas apresentadas no APÊNDICE F – FICHAS DE INSPEÇÃO.

Nas madeiras, o principal material utilizado para construção das pontes nas estradas vicinais visitadas, os fungos apodrecedores são as patologias mais encontradas, pois o contato com a água faz com que o material esteja constantemente exposto. A falta de manutenção ficou visível nesta inspeção. A Fotografia 2 apresenta a superestrutura da Ponte nº 23 que se encontra bastante danificada, inclusive apresentando falhas entre as madeiras. Também é possível visualizar o desgaste mecânico provocado pelo tráfego de veículos, que tornou a superfície da madeira fibrosa, e o ocasionou perda da espessura.

Fotografia 2 – Condições da superestrutura da Ponte nº 23

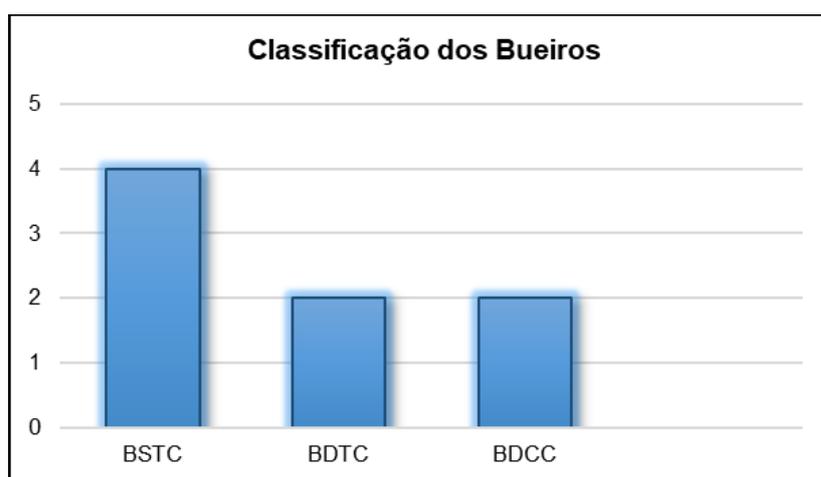


Fonte: Registrada pela autora.

As estruturas escolhidas foram aquelas que representam a situação atual das estruturas de drenagem de transposição de talvegues no município. Para esta escolha foi analisado qual o perfil recorrente das estruturas, material mais utilizado na construção, condições em que se encontram no dia da inspeção, dimensões e relatos de situação de falha das estruturas nos locais.

O bueiro escolhido foi um duplo celular de concreto (BDCC), localizado na estrada VRS 039 (de número 21 na Tabela 9). A Figura 16 apresenta um gráfico com a classificação dos bueiros quanto ao tipo de seção, número de linhas e material utilizado na construção. Apesar de grande parte dos bueiros serem do tipo tubular a situação em que se encontrava o bueiro escolhido era mais precária e sua importância em termos de contribuição de escoamento era maior, o que justificou a sua escolha.

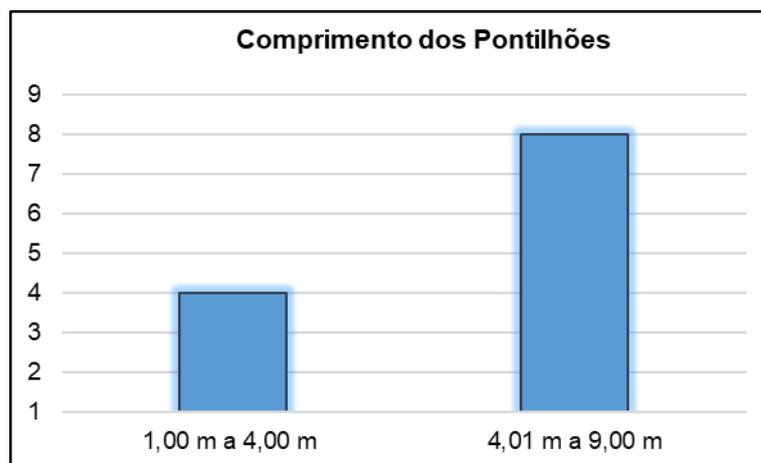
Figura 16 – Gráfico de classificação dos bueiros



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 17 apresenta um gráfico quantificando o comprimento dos pontilhões visitados. No total de 12 pontilhões, 8 deles possuíam comprimento de 4,01 metros a 9 metros, por isso foi escolhido o pontilhão localizado na estrada TK 01 (número 22 na Tabela 9) que possui 7,60 metros de comprimento. Outro fator que influenciou a escolha foram as recorrentes interrupções do tráfego no local, devido a chuvas intensas.

Figura 17 – Gráfico de quantificação dos pontilhões quanto ao comprimento

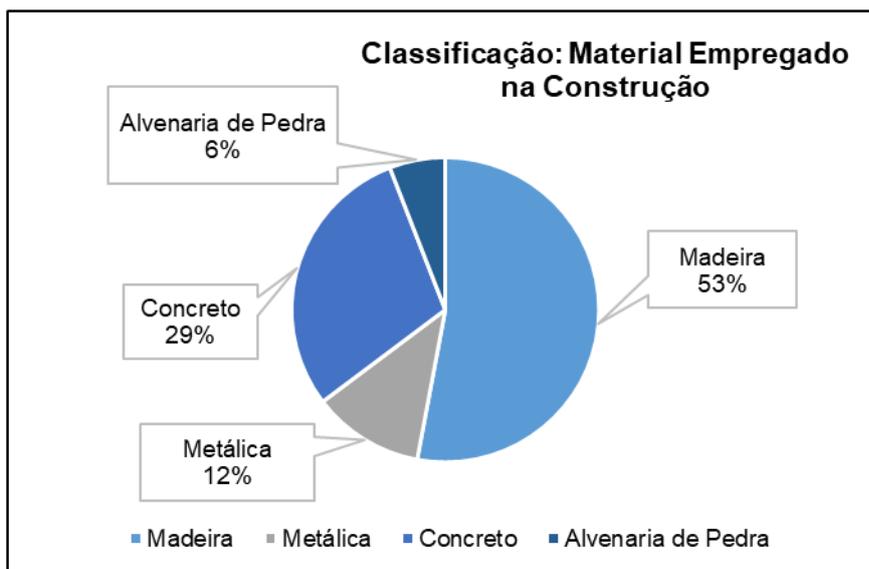


Fonte: Elaborado pela autora.

A escolha da ponte levou em consideração as classificações descritas no item 2.2.3. As três pontes visitadas quanto a sua finalidade são do tipo rodoviárias, destinadas a tráfego de veículos. Quanto ao material de construção, o gráfico da Figura 18 demonstra que 53% das pontes e pontilhões possuem madeira como principal material empregado na construção, o que justifica a escolha de uma ponte e um pontilhão de madeira.

A escolha da ponte se deu pelos frequentes episódios de cheia, e interrupção do tráfego no local, sendo a escolhida aquela localizada na estrada VRS 039 (número 23 na Tabela 9). A ponte escolhida é a maior ponte da cidade, com 36,60 metros de extensão que transpõem o maior arroio da cidade, o arroio Costa do Santa Cruz. Frequentemente o tráfego de veículos no local é interrompido devido a cheia do arroio, o que pode ser um indicativo de que a seção da ponte é insuficiente do ponto de vista hidráulico. Por isso a escolha desta estrutura para estudo.

Figura 18 – Gráfico de Classificação de Pontes e Pontilhões



Fonte: Elaborado pela autora.

Com base nestes critérios foram escolhidas as três estruturas: um bueiro, um pontilhão e uma ponte. A seguir estão apresentadas as fichas de inspeção das três estruturas escolhidas. As fichas permitiram coletar os dados principais como tipo de seção, tamanho da seção, lâmina de água, condições características do talvegue e também fotos que registram o que foi visualizado com a inspeção “in loco”. Considerando que foram visitadas no total de 23 estruturas, as demais fichas constam no APÊNDICE F – FICHAS DE INSPEÇÃO.

Figura 19 – Ficha de inspeção do Bueiro

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>25/03/2018</b>	
<b>1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO</b>	<b>8. FOTOGRAFIAS DA VISITA</b>
Nome: <b>Bueiro Pinheiros</b>	
Número de Identificação: <b>18</b>	
Natureza da Transposição: <input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>RS 039</b>	
<b>2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES</b>	
2.1 PISTA	
Comprimento: <b>9,60</b> metros;	
Largura: <b>6,20</b> metros;	
Tipo de seção: <b>Trapezoidal</b>	
2.2 BUEIRO	
Comprimento: <b>5,40</b> metros;	
Altura: <b>1,50</b> metros;	
Tipo de seção: <b>Retangular</b>	
<b>3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS</b>	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>6,20</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Estrada de Terra</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO	
Tipo de seção: <b>Celular</b>	
Nº de linhas: <b>2</b>	
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>	
Nomeclatura: <b>BDCC</b>	
<b>4. OUTROS ASPECTOS</b>	
Lamina d'água: ~ <b>0,35</b> metros	
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
<b>5. AVALIAÇÃO FINAL</b>	
Condições gerais da estrutura: <input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM	

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 20 – Ficha de Inspeção do Pontilhão

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>22/07/2018</b>	
<b>1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO</b>	<b>8. FOTOGRAFIAS DA VISITA</b>
Nome: <b>Pontilhão Asilo</b>	
Número de Identificação: <b>25</b>	
Natureza da Transposição:	
Localização (estrada): <b>RS 039</b>	
<b>2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES</b>	
Comprimento: <b>7,60</b> metros;	
Largura: <b>4,70</b> metros;	
Tipo de seção: <b>Retangular</b>	
<b>3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS</b>	
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:</b>	
Largura Total da Pista: <b>4,70</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Madeira</b>	
<b>3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:</b>	
Material Empregado na Construção: <b>Madeira</b>	
<b>4. OUTROS ASPECTOS</b>	
Lamina d'água: <b>~ 1,20</b> metros	
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
<b>5. AVALIAÇÃO FINAL</b>	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input checked="" type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 21 – Ficha de inspeção da Ponte

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA:	<b>25/03/2018</b>
<b>1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO</b>	
Nome:	<b>Ponte Costa Santa Cruz</b>
Número de Identificação:	<b>17</b>
Natureza da Transposição:	<input type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input checked="" type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada):	<b>RS 039</b>
<b>2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES</b>	
Comprimento:	<b>20,60</b> metros;
Largura:	<b>4,70</b> metros;
Tipo de seção:	<b>Trapezoidal</b>
<b>3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS</b>	
<b>3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:</b>	
Largura Total da Pista:	<b>4,70</b> metros
Nº de faixas:	<b>1 faixa</b>
Pavimento:	<b>Madeira</b>
<b>3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:</b>	
Material Empregado na Construção:	<b>Madeira</b>
<b>4. OUTROS ASPECTOS</b>	
Lamina d'água:	~ <b>0,50</b> metros
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
<b>5. AVALIAÇÃO FINAL</b>	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM
<b>8. FOTOGRAFIAS DA VISITA</b>	
	

Fonte: Elaborado pela autora

## 4.2 Vazões de Projeto

As vazões de projeto foram calculadas através dos métodos descritos item 2.4.2. Para a ponte e para o pontilhão, por se tratarem de canais com fluxo livre, foi utilizado o método SCS com TR de 100 anos. Enquanto que para o bueiro, pelo fato de possuir uma área menor, a vazão foi obtida pelos dois métodos apresentados, para fins de comparação. Foi adotado um TR de 25 anos para projeto, e para verificação da condição hidráulica a montante e a jusante, um TR de 50 anos.

Na Tabela 10, estão apresentados os valores obtidos de vazões de projeto para as estruturas analisadas e seus respectivos tempos de retorno.

Conforme apresentado na Tabela 10, a vazão de projeto para o bueiro obtida no método SCS é superior a vazão encontrada pelo método racional corrigido. Por esta razão, adotou-se o maior valor de vazão de projeto para o dimensionamento hidráulico, a fim de avaliar a pior situação. O processo de obtenção destas vazões está descrito a seguir, nos itens 4.2.1 e 4.2.2.

Tabela 10 – Vazões de projeto

MÉTODO SCS			MÉTODO RACIONAL CORRIGIDO		
Estrutura	TR (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)	Estrutura	TR (anos)	Q (m <sup>3</sup> /s)
Bueiro	25	42,35	Bueiro	25	29,35
	50	47,48		50	34,32
Pontilhão	100	207,61			
Ponte	100	841,24			

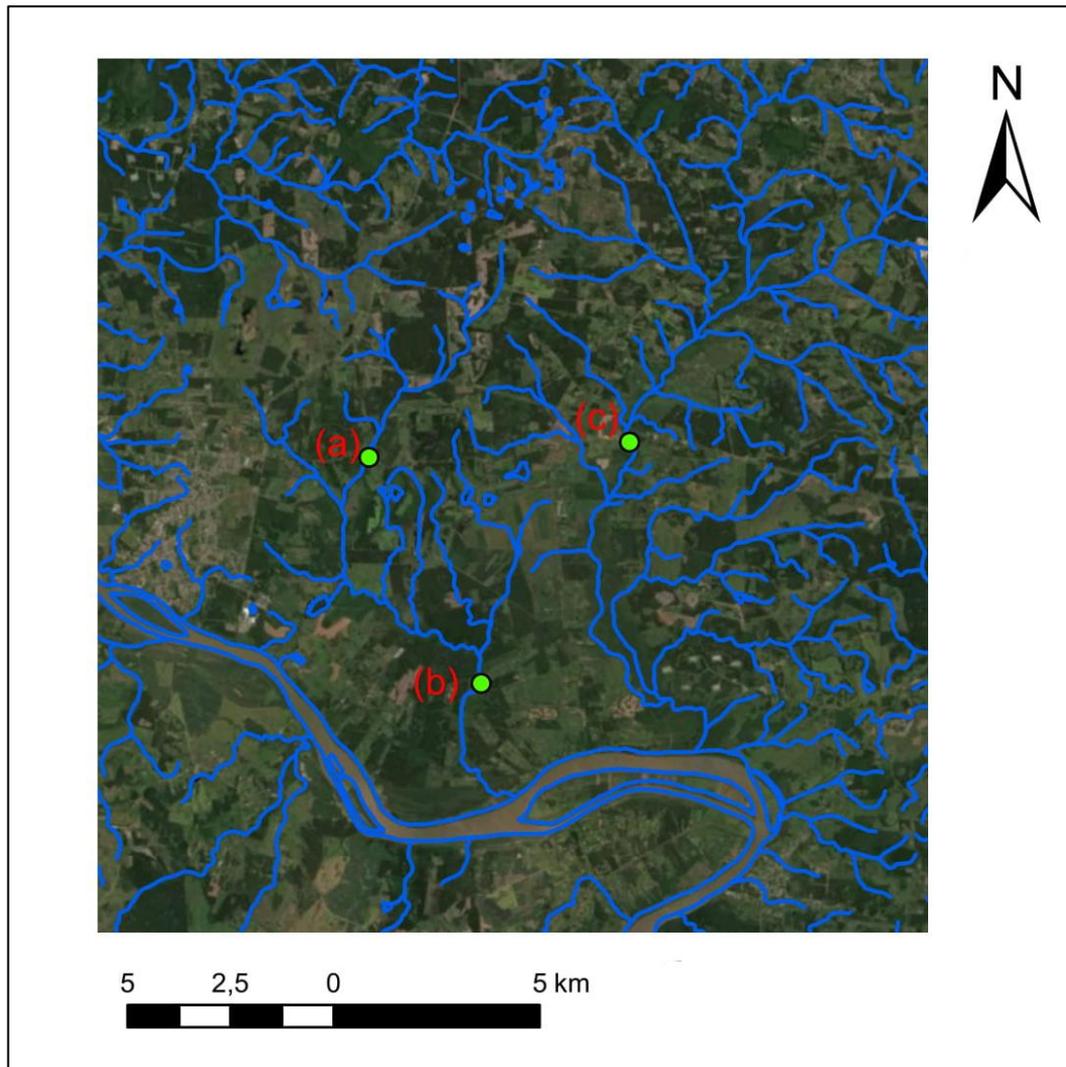
Fonte: Elaborado pela autora.

#### 4.2.1 Caracterização das Bacias de Drenagem

No cálculo das vazões de projeto foi necessário a caracterização de cada bacia, pois isso definirá o comportamento do escoamento em cada uma delas.

Esta caracterização consiste na definição dos parâmetros relacionados com o comportamento das bacias estudadas. Através da inspeção “in loco” foi possível coletar as coordenadas a fim de obter a localização de cada estrutura. A localização está representada pelos pontos verdes na Figura 22, que também mostra a malha hidrográfica da região de estudo, bem como o rio Taquari na parte inferior.

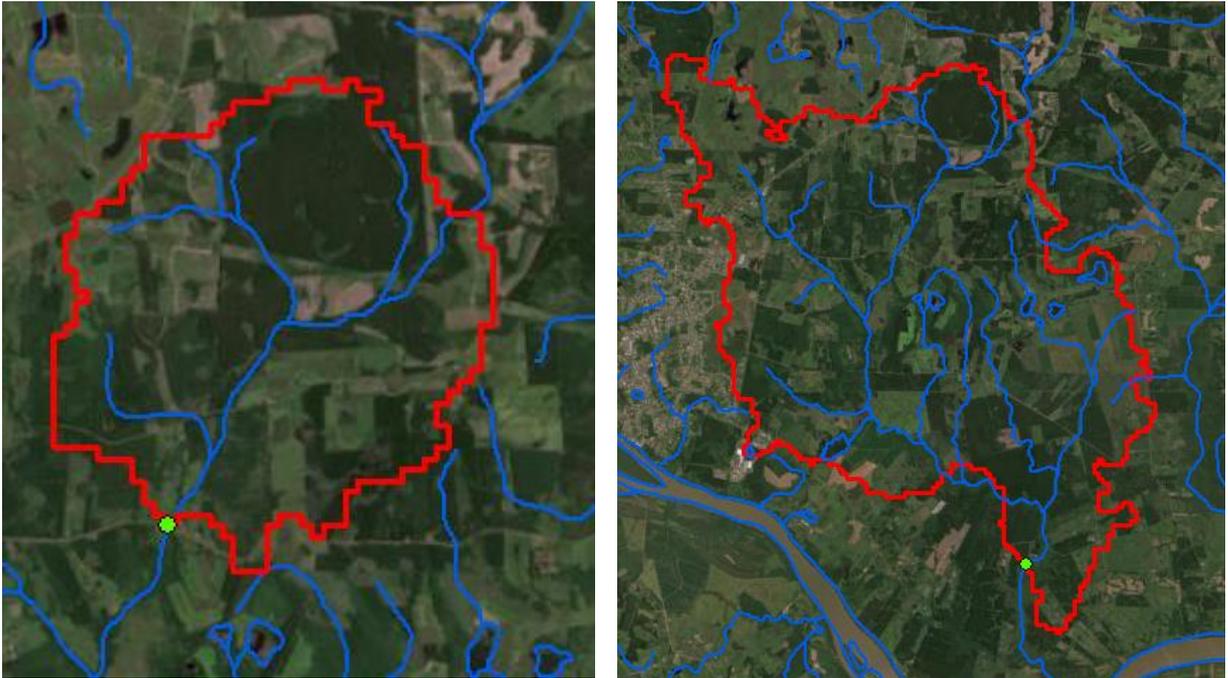
Figura 22 – Localização das estruturas de drenagem de transposição de talvegues:  
a) bueiro; b) pontilhão; c) ponte



Fonte: Elaborado pela autora.

Em posse das coordenadas geográficas, utilizando ferramentas de geoprocessamento, através ArcGIS (software para Sistemas de Informações Geográficas - SIG), foi realizada a delimitação das três bacias hidrográficas, conforme apresenta a Figura 23, a fim de obter os dados característicos de cada bacia como área, declividade e comprimento do talvegue.

Figura 23 – Delimitação das bacias hidrográficas: a) bueiro; b) pontilhão; c) ponte



(a)

(b)



(c)

Fonte: Elaborado pela autora.

O tempo de concentração ( $t_c$ ) é um fator importante na configuração do hidrograma unitário da bacia de estudo. A sua determinação foi obtida através da equação (1), considerando as características de cada bacia.

Assim, obteve-se os resultados expressos na Tabela 11 referente as características de cada bacia estudada.

Tabela 11 – Caracterização das bacias

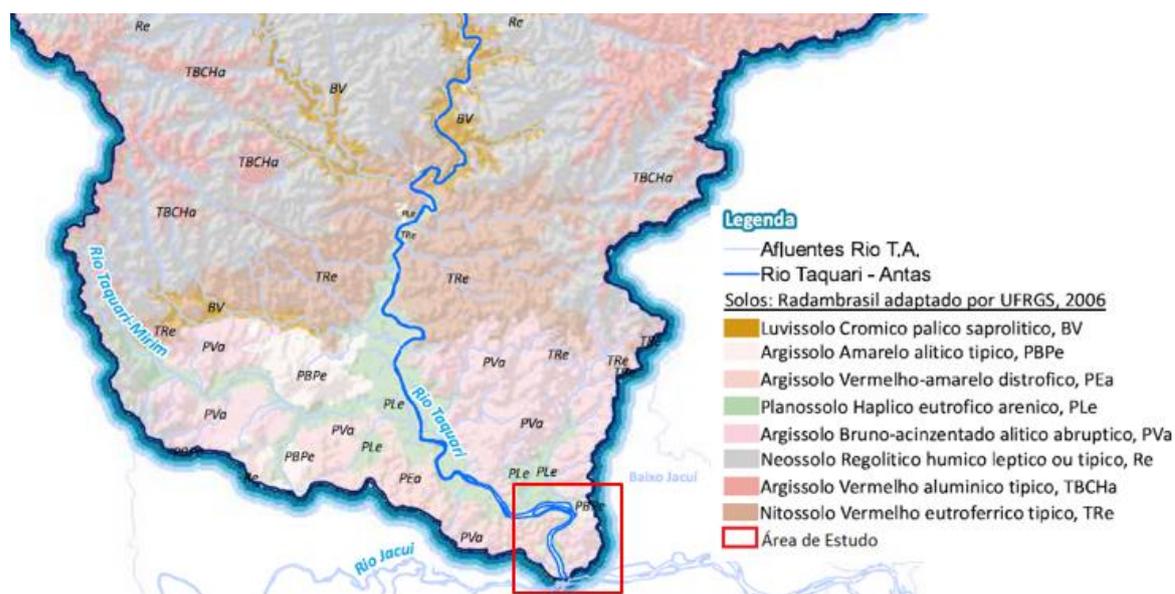
<b>Estrutura</b>	<b>Área da Bacia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Comprimento do Talvegue (km)</b>	<b>Declividade (m/m)</b>	<b><math>t_c</math> (h)</b>	<b><math>t_c</math> (min)</b>
Bueiro	9,17	7,00	0,013	2,24	134,38
Pontilhão	53,77	15,63	0,008	4,42	264,92
Ponte	282,47	34,81	0,010	6,73	403,85

Fonte: Elaborado pela autora.

Na determinação dos coeficientes que expressam o comportamento da bacia na geração do escoamento, é fundamental determinar o tipo de solo e a cobertura vegetal da área da bacia hidrográfica estudada. No método SCS o coeficiente CN é adotado para expressar as perdas iniciais e de infiltração geradas pelo solo, por isso as características do solo na região da bacia devem ser conhecidas.

A Figura 24 apresenta o mapa de tipos de solo da região da bacia Taquari-Antas, local onde estão inseridas as sub-bacias estudadas. A região de estudo abrange uma área de solos do tipo argiloso, conforme a classificação apresentada no item 2.4.2, este tipo de solo faz parte do grupo hidrológico C (item iii) que compreende solos do tipo argilosos, pouco profundos com alto percentual de areia o que os torna suscetíveis a erosão.

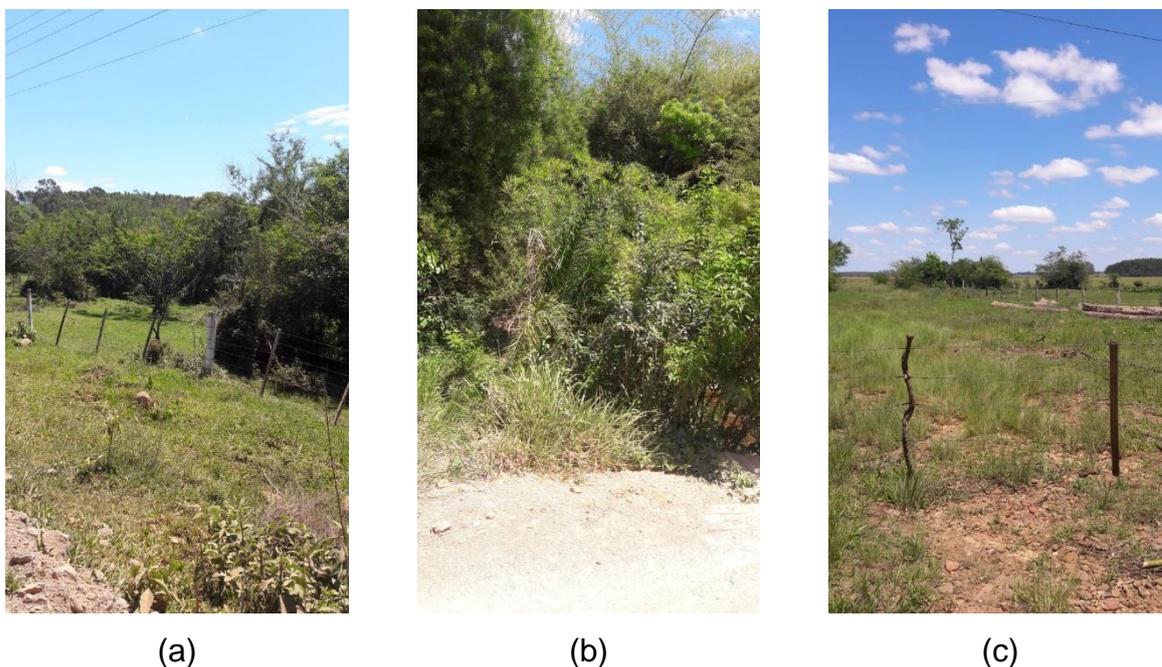
Figura 24 – Tipologia de solos da região



Fonte: Adaptado de DRH/SEMA (2012, p. 131)

Quanto à cobertura vegetal, conforme Fotografia 3, observa-se que a estruturas possuem uma cobertura vegetal semelhante, as principais características observadas através de fotointerpretação foram áreas de campos e pastagens, matas e florestas nativas. A partir da classificação do solo, conforme a Tabela 5 que determina o número de CN de acordo com o grupo hidrológico e a cobertura vegetal, estão expressos na Tabela 12 o valor adotado para CN para as bacias estudadas. Foi realizada uma ponderação quanto ao uso de solo diferente em uma mesma bacia de contribuição.

Fotografia 3 – Amostra da cobertura vegetal das três bacias de contribuição: a) bacia do bueiro; b) bacia do pontilhão; c) bacia da ponte.



Fonte: Registrado pela autora.

Tabela 12 – Definição do valor do CN

Grupo Hidrológico	Uso do solo/Cobertura Vegetal		CN
	Pasto	Mata/Bosque	
C	86	77	82

Fonte: Elaborado pela autora.

Na aplicação do método racional corrigido utiliza-se o coeficiente de escoamento ( $C$ ), como fator de reação da área na formação do deflúvio. O valor foi retirado da Tabela 3. O uso do solo nesta região compreende áreas não cultivadas, com prados e campinas, conforme apresenta Fotografia 3, gerando um valor de ( $c$ ) de 0,40.

#### 4.2.2 Hidrogramas de Projeto

Os hidrogramas de projeto são gráficos representativos da relação do escoamento ao longo de um determinado tempo, simulando um evento de chuva. O

valor máximo do hidrograma representa toda água que caiu na bacia durante a precipitação e que efetivamente se transformou em escoamento. Assim, algumas parcelas da chuva irão sofrer o processo de evapotranspiração, de perdas iniciais ou serão infiltradas pelo solo, o restante da chuva é chamada de precipitação efetiva, aquela que se transforma em escoamento.

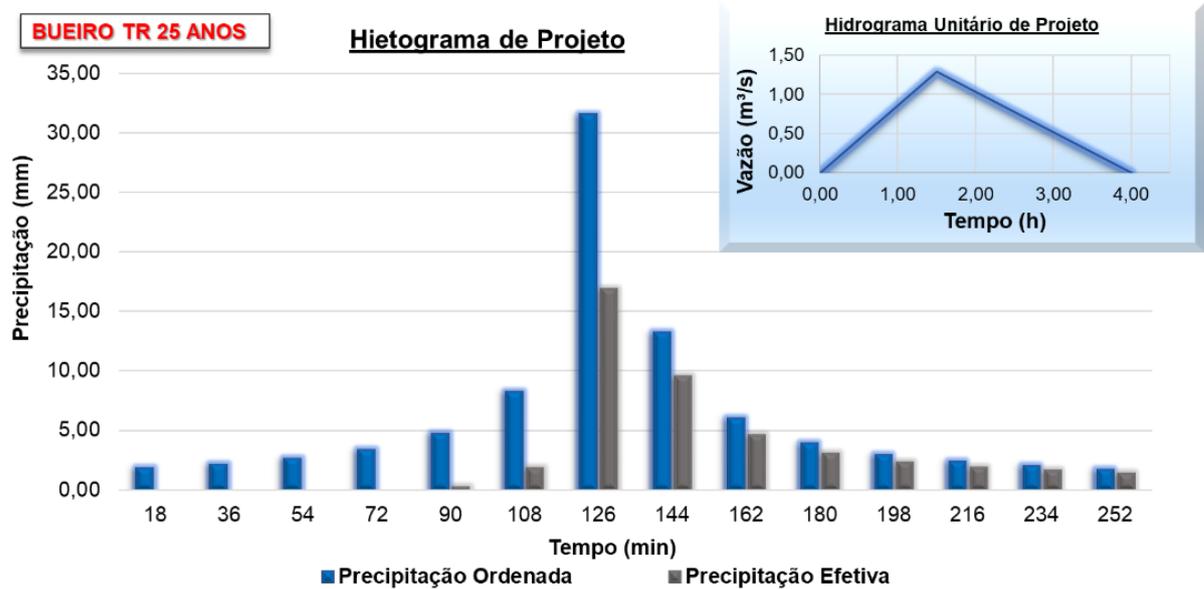
Por este motivo a aplicação do método SCS se torna mais precisa em relação ao método racional corrigido, pois expressa com mais detalhe o valor de precipitação efetiva, bem como o valor total de chuva, justificando a aplicação dos dois métodos no caso do bueiro. Na sua aplicação o método SCS considera todas as parcelas da precipitação, conforme apresentado na descrição no item 2.4.2.

Para obter os hietogramas de projeto foi aplicado método dos blocos alternados, apresentado no item 2.4.1. Estes representam graficamente a quantidade total de chuva, e a quantidade de precipitação efetiva.

Na aplicação do método SCS para obtenção dos hidrogramas de projeto adotou-se o hidrograma unitário triangular apresentado na Figura 5. O hidrograma unitário é resultante de uma unidade de precipitação efetiva, logo para as três estruturas analisadas observam-se os gráficos de hietogramas e de hidrogramas unitários a seguir nas seguintes figuras: Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28.

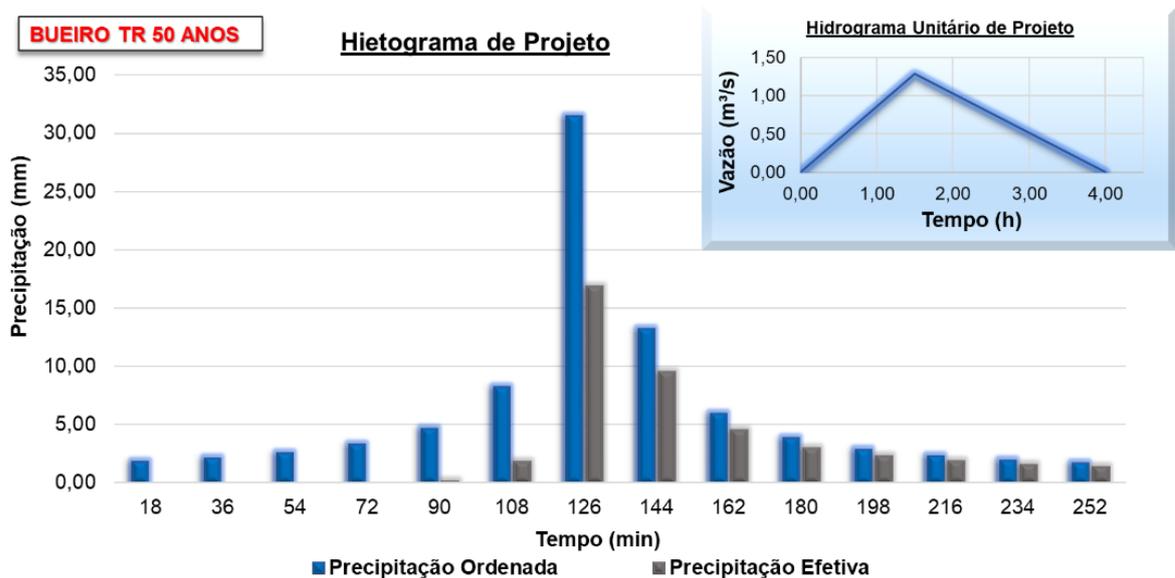
Sendo assim os hidrogramas de projeto serão um resultado da multiplicação da precipitação efetiva pelo hidrograma unitário, gerando assim um valor de vazão máxima que foi adotada como vazão de projeto. Por isso, os dois gráficos estão representados em conjunto.

Figura 25 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do bueiro para um TR de 25 anos



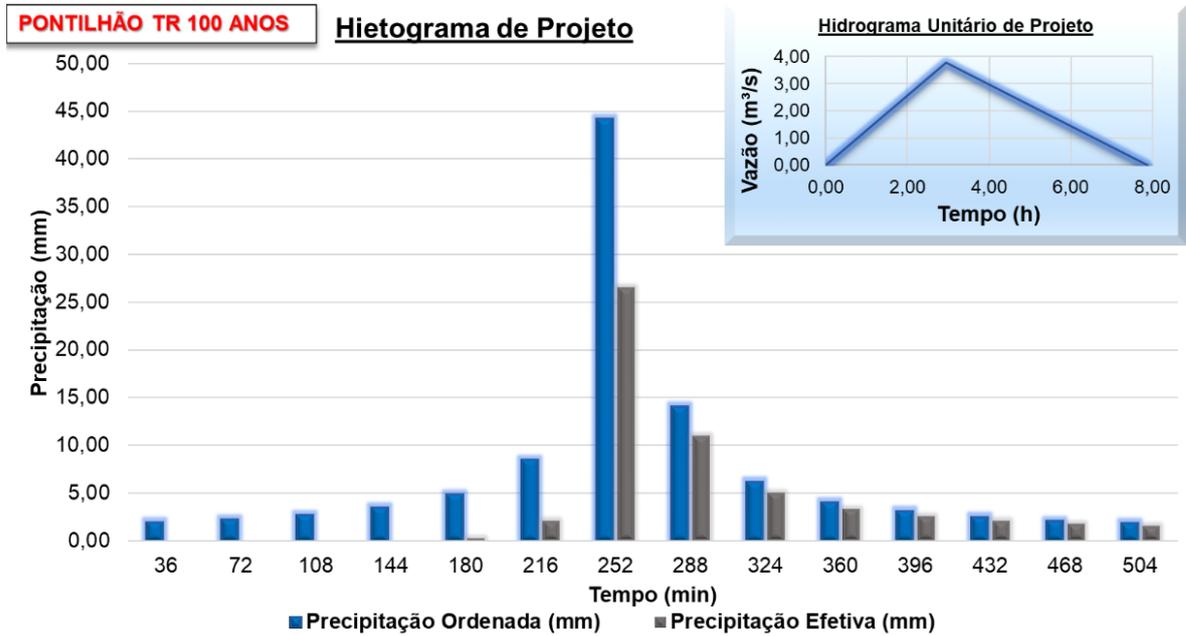
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 26 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do bueiro para um TR de 50 anos



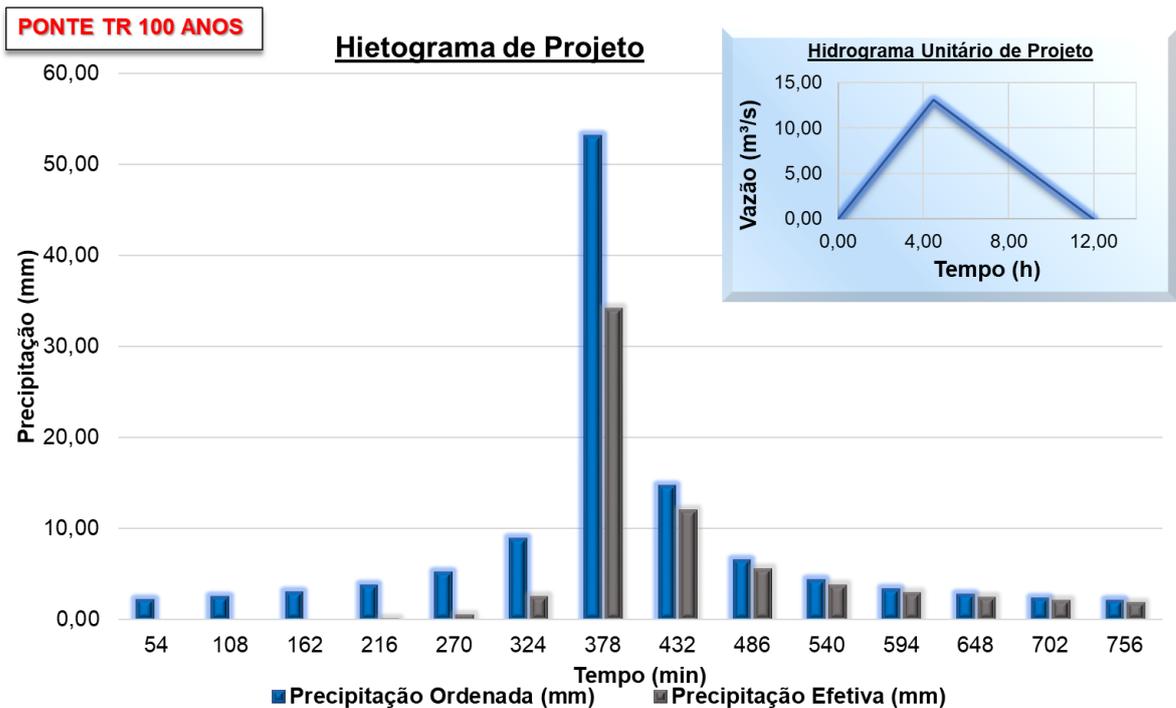
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 27 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação do pontilhão para um TR de 100 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

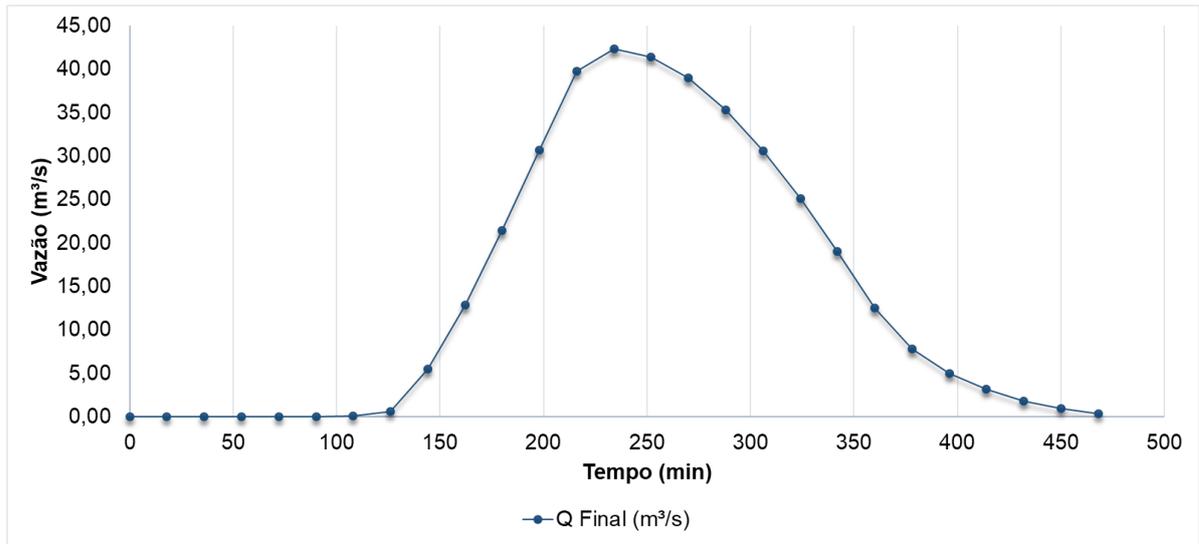
Figura 28 – Hietograma de Projeto e HUT para a verificação da ponte para um TR de 100 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

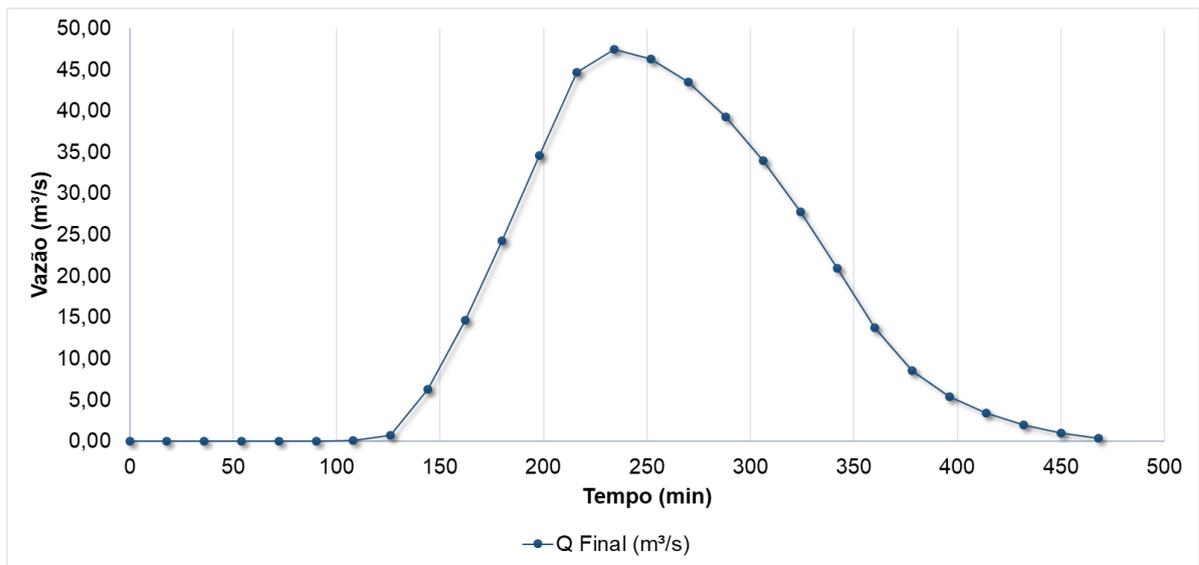
A partir dos dados de precipitação efetiva e dos hidrogramas unitários para cada estrutura, foram gerados os hidrogramas resultantes através da propagação do escoamento na bacia. Os hidrograma estão apresentados nas figuras a seguir.

Figura 29 – Hidrograma de Projeto do Bueiro para TR 25 anos



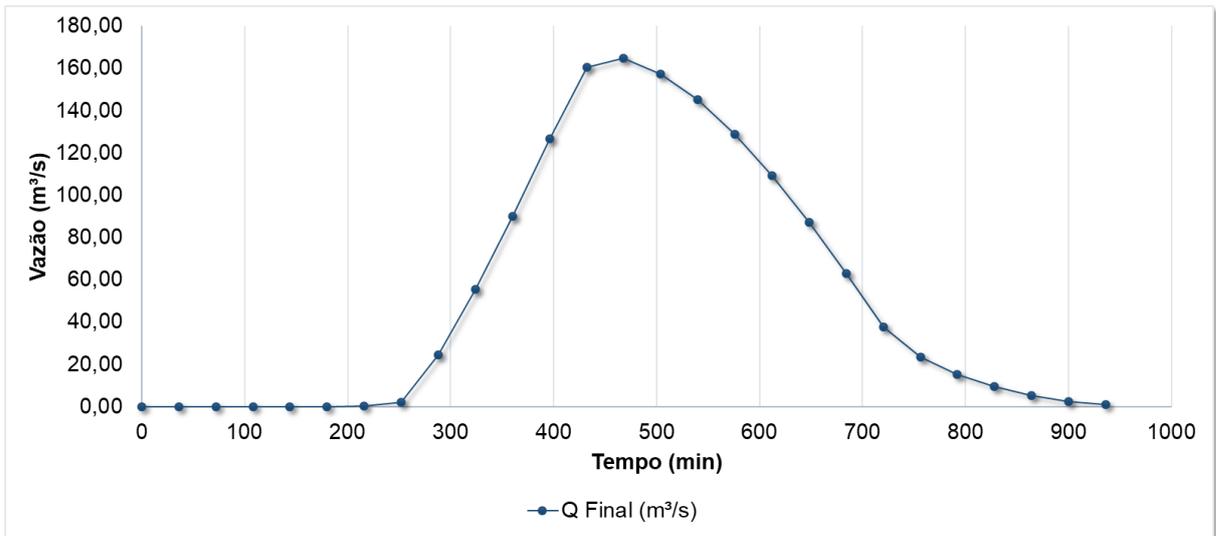
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 30 – Hidrograma de Projeto do Bueiro para TR 50 anos



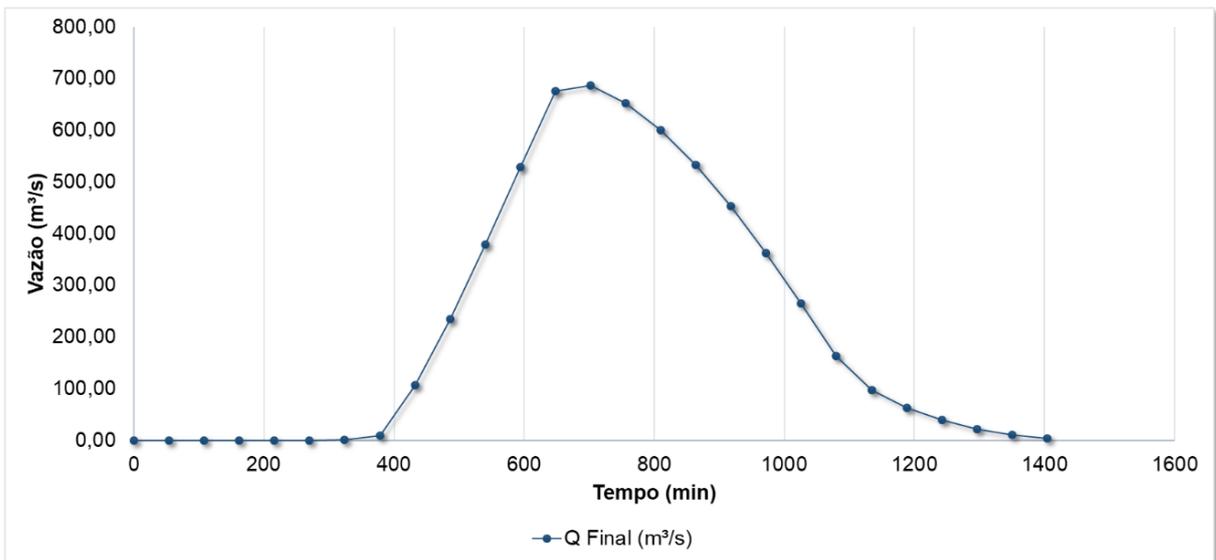
Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 31 – Hidrograma de Projeto do Pontilhão para TR 100 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 32 – Hidrograma de Projeto da Ponte para TR 100 anos



Fonte: Elaborado pela autora.

As etapas intermediárias referente a aplicação do método SCS-HUT são apresentadas no APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO.

### 4.3 Análise Hidráulica das Estruturas

Após a obtenção da vazão de projeto, a partir do estudo hidrológico, foi possível a análise da condição hidráulica baseada na comparação entre a vazão de projeto e a vazão suportada pelas estruturas.

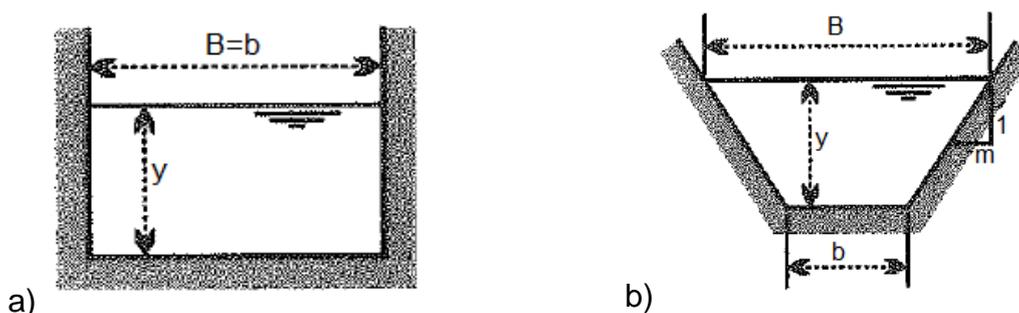
#### 4.3.1 Caracterização das Estruturas Existentes e Leitos dos Corpos Hídricos

A caracterização dos leitos dos corpos hídricos é fundamental para determinação dos parâmetros adotados para os cálculos hidrológicos e hidráulicos. Os dados básicos como levantamento preliminar das dimensões das seções, inclinações dos taludes e características das estruturas quanto à forma foram obtidos através das inspeções “in loco” realizadas por meio das fichas de inspeção. Em posse destes dados foi possível determinar as formas das seções e os valores de base maior e base menor.

Outro parâmetro fundamental na caracterização dos leitos é a declividade, neste estudo as declividades dos leitos foram obtidas através de dados de satélite com ferramentas de geoprocessamento, através da relação entre a diferença de cota e a distância entre dois pontos.

Em função da forma da seção são determinados os parâmetros fundamentais para os cálculos hidráulicos como por exemplo área molhada, perímetro molhado e raio hidráulico. De forma prática as seções trapezoidais são típicas seções de canais, assim como as retangulares, a exemplificação das dimensões nas seções está expressa na Figura 33. Os demais dados referente a cada estrutura estão expressos na Tabela 13.

Figura 33 – Exemplificação da forma da seção



Fonte: Adaptado de Baptista e Lara (2010, p. 191)

Tabela 13 – Caracterização das seções hidráulicas das estruturas.

Estrutura	Seção	Declividade (m/m)	Forma da seção	B (m)	b (m)	Inclinação do talude (1V:mH)
Bueiro	Montante = Jusante	0,007	trapezoidal	8,43	6,20	0,53
	No bueiro	0,005	retangular	5,40	5,40	
Pontilhão	A Montante	0,004	trapezoidal	10,59	5,50	0,40
	No pontilhão		retangular	5,50	5,50	
Ponte	A Montante	0,001	trapezoidal	33,79	28,80	0,30
	Na ponte		retangular	22,70	22,70	

Fonte: Elaborado pela autora.

Além dos dados referentes à seção outro fator imprescindível no dimensionamento hidráulico é o coeficiente de rugosidade de Manning ( $n$ ). Este coeficiente é um valor empírico que representa a aspereza do canal, e que traduz a sua perda de carga. Logo na utilização da equação de Manning a maior dificuldade consiste na sua determinação, por isso são adotadas diversas metodologias para sua determinação.

Neste estudo, a determinação do coeficiente de Manning foi baseada em fotos dos canais d'água naturais, e, por analogia, foi escolhido um valor adequado de " $n$ " correspondente. Essa determinação, de acordo com Baptista e Lara (2010), pode ser realizada baseada na associação do curso estudado com um curso d'água com o coeficiente de rugosidade já conhecido. De acordo com a determinação do coeficiente realizada pelo USGS (2018) e apresentada na Figura 34, foi realizada a comparação com os três canais estudados, onde obteve-se um valor de coeficiente. As características dos canais estudados estão expressos na Fotografia 4. O valor de coeficiente de Manning do canal medido é de 0,038, e foi adotado para os corpos hídricos estudados.

Igualmente, analisando o valor do coeficiente utilizando a Tabela 8 com valores para canais naturais a classificação que se encaixa com o local de estudo que é a de limpo, sinuoso alguma vegetação e pedras. Sendo assim obteve-se o valor variando entre 0,035 a 0,040.

Os três canais são naturais, e semelhantes. Por estes motivos foi adotado o mesmo valor de coeficiente de Manning, sendo ele  $n = 0,038$ .

Figura 34 – Representação do coeficiente de Manning  $n = 0,038$  para um canal conhecido



Fonte: USGS (2018).

Fotografia 4 – Amostra da caracterização dos corpos hídricos estudados: a) bueiro; b) ponilhão; c) ponte



(a)



(b)



(c)

Fonte: Registrado pela autora.

#### 4.3.2 Análise e Verificação Hidráulica para Vazões de Projeto

A análise hidráulica consistiu na análise do comportamento da estrutura sob o efeito da vazão de projeto confirmando se a estrutura é suficiente, ou não para a vazão de projeto. Após a análise e obtenção do resultado do comportamento da estrutura para a vazão de projeto, no caso de estruturas ineficientes sob o ponto de vista hidráulico, foi verificada a vazão admitida para as estruturas.

Para o bueiro, a vazão de projeto obtida no hidrograma da Figura 29, para um tempo de retorno de 25 anos, foi de 42,35 m<sup>3</sup>/s. No dimensionamento hidráulico foi admitido que o mesmo funciona como canal: condições *d*, *e* e *f* da Figura 10. Adotando a equação de Manning (25) e os conceitos quanto ao escoamento em canais abertos descritos no item 2.5, foi verificada a lâmina normal ( $y_n$ ) e a lâmina crítica ( $y_c$ ), comparando os dois valores a fim determinar o regime de funcionamento do bueiro. Os cálculos foram realizados para três seções: a montante, no bueiro e a jusante (considerando-se que a seção de jusante é idêntica à de montante).

Na seção do rio a montante verificou-se que o valor da lâmina normal ( $y_n$ ) foi superior ao valor da lâmina crítica ( $y_c$ ) representando um regime de escoamento subcrítico.

Ao analisar a energia específica nas seções de montante e no centro do bueiro, partiu-se do conceito de que o menor valor de energia presente no sistema corresponde à energia crítica ( $E_c$ ), conforme apresenta a Figura 8. Na análise da seção do bueiro, constatou-se que a energia no ponto 1 (seção de montante) é inferior à energia crítica na seção do bueiro. Assim corroborando com os conceitos apresentados em Baptista e Lara (2010), o estreitamento das seções levou a uma situação em que a energia a montante ( $E_1$ ) é inferior à energia correspondente à energia crítica ( $E_c$ ) na seção do bueiro, ocorrendo o estrangulamento e a mudança de regime de escoamento de subcrítico para o regime crítico.

Nestes casos, de acordo com DNIT (2006), a capacidade admissível do bueiro restringe-se à vazão equivalente ao regime crítico, onde a energia específica é igual à altura do bueiro. Esta situação configura uma particularidade de fluxo que acontece com o mínimo de energia, conforme Figura 10 (condição *f*), e a seção em que ocorre esta situação é chamada de seção de controle, desempenhando o controle da capacidade hidráulica do bueiro.

Logo, o bueiro está funcionando pressurizado, pois a lâmina crítica ( $y_c$ ) na seção do bueiro é superior à altura disponível. Sendo assim o bueiro não atende à vazão de projeto de TR 25 anos.

A verificação do comportamento do bueiro para TR 50 anos não é válida, visto que o bueiro falha para a vazão de projeto de TR 25 anos, por isso não cabe a análise das suas condições a montante e a jusante para o TR 50 anos.

Na verificação hidráulica da vazão admissível, para o bueiro atender ao critério do DNIT (2006), a energia crítica deve ser igual a altura do bueiro. Adotando essa simplificação obteve-se uma vazão admissível de 16,91 m<sup>3</sup>/s. Observando-se o estreitamento da seção que gera, de acordo com Baptista e Lara (2010), perdas de carga localizadas que afetam a condição do escoamento, foi aplicada a equação de perdas (22) a fim de considerar as perdas devido à contração.

Constatou-se que considerando o critério do DNIT (2006), a estrutura está funcionando como canal em regime crítico para vazão admitida de 16,91m<sup>3</sup>/s, que é inferior a um tempo de retorno de 2 anos para bacia estudada (27,2m<sup>3</sup>/s).

No entanto, a ocorrência de vazões da ordem de 27m<sup>3</sup>/s não significa que haverá água na pista, e sim, que os critérios do DNIT (2006) não foram atendidos para o tempo de retorno usual. A planilha de cálculo do bueiro pode ser visualizada de forma integral no APÊNDICE C – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: BUEIRO.

Na análise hidrológica do pontilhão foi obtida uma vazão de projeto de 164m<sup>3</sup>/s para o tempo de retorno de 100 anos. Observando que a seção do pontilhão não possui pilares, a análise foi realizada na seção do rio e na seção do pontilhão. Por isso, de forma prática, o dimensionamento hidráulico consistiu na comparação do nível de água na seção do pontilhão com a altura disponível.

De forma prática, o dimensionamento hidráulico de pontes e pontilhões visa a fixação do nível da superestrutura. Este depende do nível máximo d'água que esta relacionado com a vazão. Conforme DNIT (2006), adota-se uma borda livre, ou folga, de no mínimo 1,00 m entre a cota máxima de cheia e a face inferior da longarina do pontilhão ou ponte.

Para o pontilhão, a verificação do nível máximo d'água, para a vazão de projeto de TR 100 anos, foi realizada através da equação de Bernoulli (18). Obteve-se um valor de nível máximo de água de 4,00 m, conforme apresenta a Tabela 14. Logo constatou-se que a folga seria negativa, e, portanto, a seção de vazão é

insuficiente. Com base nesta consideração, determinou-se a vazão admissível para seção disponível. A partir da equação de Manning (25), encontrou-se uma vazão de  $22,57\text{m}^3/\text{s}$ . Sendo este valor inferior a vazão de projeto para TR 2 anos ( $85\text{m}^3/\text{s}$ ).

A metodologia de análise da ponte foi semelhante à do pontilhão, exceto pela consideração do efeito de obstruções devido aos pilares. A ponte foi analisada em duas seções: no rio a montante (que é igual a jusante) e na ponte. Na seção da ponte, os pilares causam obstruções afetando o escoamento e gerando variações na energia específica. Aplicando a equação de Bernoulli (18), o valor encontrado de nível máximo d'água foi de 7,94 m, conforme apresenta a Tabela 14, existindo uma folga negativa em relação à face inferior da longarina da ponte. Constatou-se que a ponte não atende à recomendação do DNIT (2006), pois é galgada para o tempo de retorno considerado.

Tabela 14 – Nível máximo de água e folga para as vazão de projeto

<b>Estrutura</b>	<b>Vazão de Projeto (<math>\text{m}^3/\text{s}</math>)</b>	<b>TR (anos)</b>	<b>Nível máximo de água (m)</b>	<b>Altura disponível (m)</b>	<b>Folga (m)</b>	<b>Atende</b>
Pontilhão	164,00	100	4,00	3,00	Inexistente	Não
Ponte	686,81	100	7,94	5,50	Inexistente	Não

Fonte: Elaborado pela autora.

A verificação do tempo de retorno suportado pela ponte na situação atual foi feita através do balanço de energia pela equação de Bernoulli (18). Considerando-se a obstrução dos pilares, obteve-se um valor de vazão admissível de  $281\text{m}^3/\text{s}$  para a altura disponível de 4,50m (considerando a folga mínima de um metro). Essa vazão é inferior à vazão de TR 2 anos ( $364\text{m}^3/\text{s}$ ), portanto, constatou-se que a estrutura não está segura para os critérios usuais.

A Tabela 14 apresenta um resumo dos níveis máximos d'água encontrados para o pontilhão e a ponte e suas folgas correspondentes, identificando que ambas não atendem aos critérios de folga mínima apresentados pelo DNIT (2006).

As planilhas de cálculo do pontilhão e da ponte podem ser visualizadas de forma integral no APÊNDICE D – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTILHÃO e no APÊNDICE E – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTE.

### 4.3.3 Análise das Soluções Propostas

As soluções sugeridas neste item foram baseadas nos critérios usuais adotados pelo DNIT (2006). De acordo com os parâmetros utilizados neste estudo, para o bueiro a solução proposta é a substituição do bueiro atual por um BTCC 2,50m x 2,50m sem alterar a sua declividade de assentamento. Desta forma o bueiro seria capaz de transpor a vazão de projeto para TR 25 anos de 42,35m<sup>3</sup>/s, conforme apresenta a Tabela 15.

Tabela 15 – Verificação Hidráulica da proposta de adequação do bueiro

<b>Ec</b> <b>(m)</b>	<b>yc</b> <b>(m)</b>	<b>q</b> <b>(m<sup>3</sup>/s/m)</b>	<b>Qcélula</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Qadm</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Linhas</b>	Adotar BTCC 2,50m x 2,50m
2,50	1,67	6,74	16,85	42,35	3	

Fonte: Elaborado pela autora.

Para esta solução, conforme apresenta a Tabela 16, verificou-se que a energia na seção a montante e no interior do bueiro é superior à energia crítica no bueiro. Logo, o bueiro não será uma estrutura de controle.

Tabela 16 – Verificação Hidráulica quanto a energia da proposta de adequação do bueiro

<b>b</b> <b>(m)</b>	<b>A</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>q</b> <b>(m<sup>3</sup>/s/m)</b>	<b>yc</b> <b>(m)</b>	<b>Ec</b> <b>(m)</b>	Logo: E1 (2,48) > Ec (2,21)
2,50	4,17	14,04	5,62	1,48	2,21	

Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a fim de confirmar se a lâmina normal ( $y_n$ ) não ultrapassaria a altura disponível no interior do bueiro, conforme apresenta a Tabela 17, foi aplicada a equação de Manning (25). Logo, se houver comprimento suficiente para que a lâmina se desenvolva no interior do bueiro, esta será de 1,53 m, valor este superior à lâmina crítica, ou seja não haveria alteração de regime de escoamento. Isso também comprova que a lâmina no interior do bueiro será inferior a 80% da altura disponível, conforme determina Baptista e Lara (2010).

Tabela 17 – Verificação da lâmina normal na proposta de adequação do bueiro

<b>Q</b> <b>(m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>i</b> <b>(m/m)</b>	<b>n</b>	<b>B</b> <b>(m)</b>	<b>y</b> <b>(m)</b>	<b>A</b> <b>(m<sup>2</sup>)</b>	<b>P</b> <b>(m)</b>	<b>Rh</b> <b>(m)</b>	<b>Qcélula</b> <b>(m)</b>
42,35	0,005	0,015	2,50	1,53	3,825	5,56	0,69	14,12

Fonte: Elaborado pela autora.

Segundo os parâmetros determinados neste estudo para o pontilhão e para a ponte, recomenda-se que ambas sejam modificadas de forma a ter altura e vão superiores aos atuais, a fim de cumprir o critério da folga mínima. Para o pontilhão a solução é elevar a estrutura 2,00 m. Desta forma, a estrutura atende à seção de vazão de projeto para TR 100 anos, e a folga mínima de 1,00 m proporcionando a segurança adequada ao pontilhão.

No caso da ponte, a solução é elevar a estrutura 3,44 m para que assim, a estrutura opere em condições de segurança ao tráfego de veículos. Com essa solução, a ponte atende à vazão de projeto para TR 100 anos, e cumpre o requisito da folga mínima.

## 5 CONCLUSÃO

Dada a importância da drenagem rodoviária para o prolongamento da vida útil das rodovias e segurança do tráfego, pois visam afastar do corpo estradal as águas, neste estudo foi realizada uma avaliação das estruturas de drenagem de transposição de talwegues localizadas em estradas vicinais no município de Taquari/RS.

Buscou-se, através da fundamentação teórica, apresentar definições básicas relacionadas a bueiros, pontilhões e pontes, assim como conceitos e critérios relacionados aos seus projetos. Com base nos critérios do DNIT (2006), a aplicação deste estudo deu-se em três estruturas tipificadas localizadas no município.

O dimensionamento de estruturas de drenagem de transposição de talwegues depende, além dos estudos hidrológico e hidráulico, de estudos topográficos, estruturais e geotécnicos, que não foram feitos neste trabalho. Assim, neste estudo, adotou-se uma simplificação, onde os dados básicos de cada estrutura foram obtidos através das fichas de inspeção. Sendo assim, a escolha das três estruturas estudadas e o diagnóstico civil das mesmas foram realizados através das fichas de inspeção "in loco".

Para a realização da avaliação hidráulica destas estruturas, foi realizado um estudo hidrológico a fim de determinar a vazão de projeto para o tempo de retorno adequado para estruturas desta magnitude.

Para bueiros, a avaliação hidráulica consistiu na comparação da vazão admissível com a vazão de projeto, obtida pelos estudos hidrológicos. Analisando os valores obtidos para vazão admissível através equação de Manning, constatou-se que o bueiro tipificado não suporta a vazão de projeto para um tempo de retorno de 25 anos, não atendendo aos critérios do DNIT (2006). Conclui-se, então, que o bueiro, nas condições atuais, suporta um tempo de retorno inferior a 2 anos, corroborando com os relatos de falhas anuais desta estrutura.

Na análise hidráulica do pontilhão foi considerada a vazão de projeto para um tempo de retorno de 100 anos. Aplicou-se o conceito de balanço de energia a fim de determinar o nível de água na seção. Constatou-se que o nível de água na seção era superior ao admitido pela estrutura, ou seja, não há folga e a estrutura trabalha submersa. Para atender a vazão de projeto de tempo de retorno de 100 anos a estrutura necessita de uma altura disponível de 4,89 m, considerando a folga de

1,00m. Dado isso, foi analisada a vazão admissível pela estrutura considerando a altura disponível nas condições atuais, e o critério da folga mínima, comprovando-se que a vazão admissível é inferior à vazão de projeto para um tempo de retorno de 2 anos.

Para a realização da análise hidráulica da ponte, considerou-se a mesma metodologia do pontilhão, exceto pela consideração dos efeitos de obstrução dos pilares. Adotou-se a vazão de projeto para um tempo de retorno de 100 anos e comparou-se a altura disponível no local com o nível d'água na seção. Foi constatado que o nível d'água encontrava-se em uma cota superior a face inferior da longarina da ponte, ou seja, não existe folga entre a ponte e o nível d'água para este tempo de retorno, estando a estrutura submersa. Constatou-se que a ponte deveria possuir uma altura disponível de 9,00 m para cumprir o requisito da folga mínima de 1,00m, e atender à vazão de projeto para o tempo de retorno de 100 anos, desta forma garantindo segurança ao trecho. Por fim, foi verificada a vazão admissível para a seção atual da ponte, onde se obteve uma vazão de projeto com tempo de retorno de 2 anos.

Portanto conclui-se através deste estudo, que as estruturas não estão atendendo aos critérios relacionados a projeto do DNIT (2006), por isso não oferecem a segurança adequada aos usuários.

Em relação as soluções obtidas, é importante analisar as limitações quanto à elevação do pontilhão e da ponte. É necessário avaliar o greide da rodovia, que também deve ser elevado, considerando que estas estruturas estão localizadas em estradas vicinais, e que uma possível elevação do nível da superestrutura ocasiona em uma maior área de inundação. Além disso, na avaliação hidráulica das estruturas, considerou-se apenas o leito menor do corpo hídrico, de forma que a elevação destas estruturas pode implicar no alagamento do leito maior e, conseqüentemente, reduzir a altura necessária para que se tenha segurança hidráulica para o pontilhão e para a ponte.

É importante salientar que as recomendações de soluções para as três estruturas apresentados neste estudo são baseadas na realidade atual, mas, não devem ser adotadas em possíveis projetos hidráulicos nas estruturas sem analisar as devidas considerações pertinentes ao dimensionamento onde se faz necessário um levantamento topométrico detalhado, que poderá resultar em soluções mais econômicas do que aquelas aqui sugeridas.

Conclui-se que o objetivo principal deste estudo foi atingindo, através da revisão teórica quanto a critérios de projeto, o dimensionamento hidráulico de estruturas de drenagem de transposição de talvegues e o diagnóstico civil por meio das fichas de inspeção.

No sentido de complementar este estudo cabe salientar que existem outras metodologias para cálculo de vazão que podem ser adotadas para estruturas de drenagem de transposição de talvegues, bem como análise de remanso hidráulico que são análises importantes para projetos de obras desta magnitude.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9452: Vistoria de pontes de concreto**. Rio de Janeiro, 2016, 13 p.

BAPTISTA, M.; LARA, M. **Fundamentos de engenharia hidráulica**. Belo Horizonte, 2010, 480 p.

CALIL JUNIOR, C. **Manual de projeto e construção de pontes de madeira**. São Carlos: Suprema, 2006, 252p.

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DA SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE. **Elaboração dos serviços de consultoria referente as fases A e B do plano de bacia do rio Taquari-Antas**. Porto Alegre, 2012. 688 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p. (IPR. Publ. 715).

\_\_\_\_\_. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de drenagem de rodovias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 333 p. (IPR. Publ. 724).

\_\_\_\_\_. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de inspeção de pontes rodoviárias**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2004. 253 p. (IPR. Publ. 709).

GRIBBIN, J. E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. Tradução de Glauco Peres Damas. São Paulo: Cengage Learning. 2013.

GUSMÃO FILHO, J. A. **Fundações de pontes: hidráulica e geotécnica**. 2 ed. Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2008.

HASENACK, H.; WEBBER, E. (org). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS Centro de Ecologia. 2010. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/labgeo/index.php/50-dados-espaciais/250-base-cartografica-vetorial-continua-do-rio-grande-do-sul-escala-1-50-000>>. Acesso em: 03 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **BASE cartográfica vetorial contínua do Brasil 1:250000**. Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <[http://geoftp.ibge.gov.br/cartas\\_e\\_mapas/bases\\_cartograficas\\_continuas/bc250/verso2017/](http://geoftp.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/verso2017/)> Acesso em: 03 out. 2018.

MARCHETTI, O. **Pontes de concreto armado**. São Paulo: Blücher, 2009.

MILANI, C. J.; KRIPKA, M. **A identificação de patologias em pontes de madeira: diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco – Paraná.** REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 1, n. 4, p. 23-33, 2012.

MIGUEZ, M. G.; VÉROL, A. P.; REZENDE, O.M. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

PEREIRA, A. L. **Drenagem de rodovias e ferrovias.** Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1959.

PFEIL, W. **Pontes: curso básico – projeto, construção e manutenção.** Rio de Janeiro: Campus 1983

PMPA/IPH, Prefeitura Municipal de Porto Alegre/Instituto de Pesquisas Hidráulicas. **Plano diretor de drenagem urbana: manual de drenagem urbana.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v. 6, 2005.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. **Classificação hidrológica de solos brasileiros para estimativa da chuva excedente com método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos parte 1: classificação.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 4, p. 5-18, 2005.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais.** RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Surface-water field techniques.** Virgínia, 2018. Disponível em: <<https://wwwrcamnl.wr.usgs.gov/sws/fieldmethods/Indirects/nvalues/index.htm>>. Acesso em: 17 out. 2018.

TUCCI, C. M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** [S.l.]: Porto Alegre: UFRGS: ABRH, 2014., 2014.

VITÓRIO, J. A. P. **Pontes Rodoviárias: fundamentos, conversação e gestão.** 1. ed. Recife: CREA-PE, 2002.

WEBBER, E.; HASENACK, H.; FERREIRA, C.J.S. 2004. **Adaptação do modelo digital de elevação do SRTM para o sistema de referência oficial brasileiro e recorte por unidade de federação.** Porto Alegre, UFRGS Centro de Ecologia. ISBN 978-85-63843-09-9. Disponível em: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>. Acesso em: 03 out. 2018.

## APÊNDICE A – APLICAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO: BUEIRO

### IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

**Tipo de Estrutura:** Bueiro

**Localização:** VRS 039

### CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

**Área da bacia** 9,310 km<sup>2</sup>

**L** 7,00 km

**Declividade** 0,013 m/m

### ELEMENTOS CALCULADOS

**tc, adot** 135,000 min

**C** 0,40

**TR** 25 anos

**TR** 50 anos

**Cf** 1,10

**Cf** 1,20

**C** 0,44

**C** 0,48

**I** 32,2407 mm/h

**I** 34,5548 mm/h

### VAZÃO DE PROJETO

**Q<sub>25</sub>** 29,35 m<sup>3</sup>/s

**Q<sub>50</sub>** 34,32 m<sup>3</sup>/s

## APÊNDICE B – APLICAÇÃO DO MÉTODO SCS PARA CÁLCULO DA VAZÃO DE PROJETO

### BUEIRO TR 25 ANOS

#### IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

<b>Tipo de Estrutura</b> Bueiro	<b>Localização</b> TK 09
---------------------------------	--------------------------

#### CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

<b>Área da bacia</b> 9,310 km <sup>2</sup>	<b>L</b> 7,00 km	<b>Declividade</b> 0,013 m/m
--	------------------	------------------------------

#### ELEMENTOS CALCULADOS

<b>tc, calc</b> 134,380 min	<b>tc, adot</b> 135,000 min	
<b>Δt</b> 18,000 min	<b>tp</b> 81,000 min	<b>tr</b> 150,300 min
<b>qp</b> 1,291 m <sup>3</sup> /s	<b>tm</b> 90,000 min	<b>tb</b> 240,300 min

#### PRECIPITAÇÃO EFETIVA (mm)

<b>CN</b> 82	<b>TR</b> 25 anos	<b>S</b> 55,756 mm	<b>la</b> 11,151 mm
--------------	-------------------	--------------------	---------------------

Tempo (min)	Pacum (mm)	Pdeascum (mm)	Índice	Pordenada (mm)	Proj acum (mm)	Pef acum (mm)	Pef (mm)
18	31,52	31,52	13	1,85	1,85	0,00	0
36	44,77	13,25	11	2,16	4,02	0,00	0
54	53,03	8,26	9	2,62	6,64	0,00	0
72	59,04	6,00	7	3,35	9,99	0,00	0
90	63,76	4,73	5	4,73	14,72	0,21	0,21
108	67,68	3,91	3	8,26	22,98	2,07	1,86
126	71,03	3,35	1	31,52	54,50	18,96	16,89
144	73,96	2,94	2	13,25	67,75	28,51	9,55
162	76,58	2,62	4	6,00	73,75	33,11	4,60
180	78,95	2,37	6	3,91	77,67	36,18	3,07
198	81,11	2,16	8	2,94	80,60	38,52	2,34
216	83,11	2,00	10	2,37	82,97	40,43	1,91
234	84,96	1,85	12	2,00	84,96	42,05	1,62
252	86,70	1,73	14	1,73	86,70	43,47	1,42
Somatórios		84,96		86,70			43,47

#### HIDROGRAMA UNITÁRIO DE PROJETO

Ordenadas	
T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00
1,50	1,29
4,01	0,00

Curva de Subida	
a	0,860657778
b	0
Curva de Subida	
a	-0,515363939
b	2,064032575

## HIDROGRAMA DE PROJETO

t (min)	t (h)	HU (1mm)	P efetiva (mm)	P1*hu	P2*hu	P3*hu	P4*hu	P5*hu	P6*hu	P7*hu	P8*hu	P9*hu	P10*hu	P11*hu	P12*hu	P13*hu	P14*hu	P15*hu	Q Final (m³/s)	Volume (1000.m³)
0	0,00	0,00	0,00	0,00															0,00	0,00
18	0,30	0,26	0,00	0,00	0,00														0,00	0,00
36	0,60	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00													0,00	0,00
54	0,90	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												0,00	0,00
72	1,20	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											0,00	0,00
90	1,50	1,29	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										0,00	0,00
108	1,80	1,14	1,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00									0,06	0,06
126	2,10	0,98	16,89	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,48	0,00								0,59	0,64
144	2,40	0,83	9,55	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,17	0,96	4,36	0,00							5,49	5,92
162	2,70	0,67	4,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	1,44	8,72	2,47	0,00						12,85	13,87
180	3,00	0,52	3,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	1,92	13,08	4,93	1,19	0,00					21,40	23,11
198	3,30	0,36	2,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	2,40	17,44	7,40	2,38	0,79	0,00				30,65	33,10
216	3,60	0,21	1,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	2,11	21,81	9,86	3,56	1,59	0,60	0,00			39,74	42,92
234	3,90	0,05	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	1,82	19,19	12,33	4,75	2,38	1,21	0,49	0,00		42,35	45,74
252	4,20	0,00	1,42		0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	1,53	16,58	10,85	5,94	3,17	1,81	0,98	0,42	0,00	41,44	44,76
270	4,50	0,00				0,00	0,00	0,00	0,11	1,25	13,97	9,38	5,23	3,97	2,42	1,48	0,84	0,37	39,00	42,12
288	4,80						0,00	0,00	0,08	0,96	11,36	7,90	4,52	3,49	3,02	1,97	1,26	0,73	35,28	38,11
306	5,10							0,00	0,04	0,67	8,75	6,42	3,80	3,02	2,66	2,46	1,67	1,10	30,60	33,05
324	5,40								0,01	0,39	6,14	4,95	3,09	2,54	2,30	2,17	2,09	1,46	25,14	27,15
342	5,70									0,10	3,53	3,47	2,38	2,07	1,94	1,87	1,84	1,83	19,02	20,54
360	6,00										0,91	1,99	1,67	1,59	1,57	1,58	1,59	1,61	12,52	13,52
378	6,30											0,52	0,96	1,12	1,21	1,28	1,34	1,39	7,82	8,44
396	6,60												0,25	0,64	0,85	0,99	1,09	1,17	4,99	5,39
414	6,90													0,17	0,49	0,69	0,84	0,95	3,14	3,39
432	7,20														0,13	0,40	0,59	0,73	1,85	1,99
450	7,50															0,10	0,34	0,51	0,96	1,03
468	7,80																0,09	0,30	0,38	0,41
486	8,10																0,08	0,08	0,08	0,15

VOLUME ESCOADO (1000m³)	405,37
VOLUME PRECIPITADO	807,15
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	0,50

<b>Q projeto (m³/s)</b>	<b>42,35</b>
-------------------------	--------------

## BUEIRO TR 50 ANOS

## IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

<b>Tipo de Estrutura</b>	Bueiro	<b>Localização</b>	TK 09
--------------------------	--------	--------------------	-------

## CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

<b>Área da bacia</b>	9,310 km <sup>2</sup>	<b>L</b>	7,00 km	<b>Declividade</b>	0,013 m/m
----------------------	-----------------------	----------	---------	--------------------	-----------

## ELEMENTOS CALCULADOS

<b>tc, calc</b>	134,380 min	<b>tc, adot</b>	135,000 min	<b>tr</b>	150,300 min
<b>Δt</b>	18,000 min	<b>tp</b>	81,000 min	<b>tb</b>	240,300 min
<b>qp</b>	1,291 m <sup>3</sup> /s	<b>tm</b>	90,000 min		

## PRECIPITAÇÃO EFETIVA (mm)

<b>CN</b>	82	<b>TR</b>	50 anos	<b>S</b>	55,756 mm	<b>la</b>	11,151 mm
-----------	----	-----------	---------	----------	-----------	-----------	-----------

Tempo (min)	Pacum (mm)	Pdeascum (mm)	Índice	Pordenada (mm)	Proj acum (mm)	Pef acum (mm)	Pef (mm)
18	33,78	33,78	13	1,99	1,99	0,00	0
36	47,98	14,20	11	2,32	4,31	0,00	0
54	56,84	8,85	9	2,81	7,11	0,00	0
72	63,27	6,43	7	3,59	10,70	0,00	0
90	68,34	5,07	5	5,07	15,77	0,35	0,35
108	72,54	4,20	3	8,85	24,63	2,62	2,27
126	76,13	3,59	1	33,78	58,41	21,68	19,06
144	79,27	3,15	2	14,20	72,61	32,22	10,54
162	82,08	2,81	4	6,43	79,04	37,28	5,05
180	84,62	2,54	6	4,20	83,24	40,65	3,37
198	86,94	2,32	8	3,15	86,39	43,21	2,56
216	89,08	2,14	10	2,54	88,92	45,30	2,09
234	91,06	1,99	12	2,14	91,06	47,07	1,77
252	92,92	1,86	14	1,86	92,92	48,62	1,55
Somatórios		91,06		92,92			48,62

## HIDROGRAMA UNITÁRIO DE PROJETO

Ordenadas	
T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00
1,50	1,29
4,01	0,00

Curva de Subida	
a	0,860657778
b	0
Curva de Subida	
a	-0,515363939
b	2,064032575

## HIDROGRAMA DE PROJETO

t (min)	t (h)	HU (1mm)	P efetiva (mm)	P1*hu	P2*hu	P3*hu	P4*hu	P5*hu	P6*hu	P7*hu	P8*hu	P9*hu	P10*hu	P11*hu	P12*hu	P13*hu	P14*hu	P15*hu	Q Final (m³/s)	Volume (1000.m³)
0	0,00	0,00	0,00	0,00															0,00	0,00
18	0,30	0,26	0,00	0,00	0,00														0,00	0,00
36	0,60	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00													0,00	0,00
54	0,90	0,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												0,00	0,00
72	1,20	1,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											0,00	0,00
90	1,50	1,29	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										0,00	0,00
108	1,80	1,14	2,27	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00									0,09	0,10
126	2,10	0,98	19,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,59	0,00								0,77	0,83
144	2,40	0,83	10,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	1,17	4,92	0,00							6,37	6,88
162	2,70	0,67	5,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,37	1,76	9,84	2,72	0,00						14,69	15,86
180	3,00	0,52	3,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,46	2,34	14,76	5,45	1,30	0,00					24,31	26,26
198	3,30	0,36	2,56	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,40	2,93	19,68	8,17	2,61	0,87	0,00				34,66	37,43
216	3,60	0,21	2,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	2,58	24,60	10,89	3,91	1,74	0,66	0,00			44,74	48,31
234	3,90	0,05	1,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,29	2,23	21,66	13,61	5,22	2,61	1,32	0,54	0,00		47,48	51,28
252	4,20	0,00	1,55		0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	1,88	18,71	11,98	6,52	3,48	1,98	1,08	0,46	0,00	46,33	50,04
270	4,50	0,00				0,00	0,00	0,00	0,18	1,53	15,76	10,35	5,74	4,35	2,65	1,62	0,92	0,40	43,50	46,98
288	4,80						0,00	0,00	0,13	1,18	12,82	8,72	4,96	3,83	3,31	2,15	1,37	0,80	39,27	42,41
306	5,10							0,00	0,07	0,82	9,87	7,09	4,18	3,31	2,91	2,69	1,83	1,20	33,98	36,70
324	5,40								0,02	0,47	6,92	5,46	3,40	2,79	2,52	2,37	2,29	1,60	27,84	30,07
342	5,70									0,12	3,98	3,83	2,62	2,27	2,12	2,05	2,01	2,00	21,00	22,68
360	6,00										1,03	2,20	1,84	1,75	1,72	1,73	1,74	1,76	13,76	14,86
378	6,30											0,57	1,05	1,22	1,33	1,40	1,47	1,52	8,57	9,25
396	6,60												0,27	0,70	0,93	1,08	1,19	1,28	5,46	5,90
414	6,90													0,18	0,53	0,76	0,92	1,04	3,43	3,71
432	7,20														0,14	0,44	0,64	0,80	2,02	2,18
450	7,50															0,11	0,37	0,56	1,05	1,13
468	7,80																0,10	0,32	0,42	0,45
486	8,10																	0,08	0,08	0,17

VOLUME ESCOADO (1000m³)	453,37
VOLUME PRECIPITADO	865,09
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	0,52

Q projeto (m³/s)	47,48
------------------	-------

## PONTILHÃO 100 ANOS

### IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

<b>Tipo de Estrutura</b> Pontilhão	<b>Localização</b> TK 01
------------------------------------	--------------------------

### CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

<b>Área da bacia</b> 53,773 km <sup>2</sup>	<b>L</b> 15,63 km	<b>Declividade</b> 0,008 m/m
---	-------------------	------------------------------

### ELEMENTOS CALCULADOS

<b>tc, calc</b> 264,920 min	<b>tc, adot</b> 265,000 min	
<b>Δt</b> 36,000 min	<b>tp</b> 159,000 min	<b>tr</b> 295,590 min
<b>qp</b> 3,791 m <sup>3</sup> /s	<b>tm</b> 177,000 min	<b>tb</b> 472,590 min

### PRECIPITAÇÃO EFETIVA (mm)

<b>CN</b> 82	<b>TR</b> 100 anos	<b>S</b> 55,756 mm	<b>la</b> 11,151 mm
	<b>Duração</b> 496 min	<b>β</b> 39,68 km	<b>Ka</b> 0,860

Tempo (min)	Pacum (mm)	Pdeascum (mm)	Índice	Pordenada (mm)	Proj acum (mm)	Pef acum (mm)	Pef (mm)
36	44,21	44,21	13	2,02	2,02	0,00	0
72	58,30	14,09	11	2,34	4,36	0,00	0
108	66,84	8,54	9	2,80	7,17	0,00	0
144	73,04	6,21	7	3,54	10,71	0,00	0,00
180	77,97	4,92	5	4,92	15,63	0,33	0,33
216	82,07	4,11	3	8,54	24,17	2,46	2,13
252	85,62	3,54	1	44,21	68,38	28,99	26,52
288	88,74	3,13	2	14,09	82,47	40,02	11,04
324	91,55	2,80	4	6,21	88,67	45,09	5,07
360	94,09	2,55	6	4,11	92,78	48,50	3,41
396	96,44	2,34	8	3,13	95,91	51,13	2,62
432	98,60	2,17	10	2,55	98,46	53,28	2,15
468	100,63	2,02	12	2,17	100,63	55,12	1,84
504	102,52	1,90	14	1,90	102,52	56,74	1,62
Somatórios							56,74

### HIDROGRAMA UNITÁRIO DE PROJETO

Ordenadas	
T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00
2,95	3,79
7,88	0,00

Curva de Subida	
a	1,285238035
b	0
Curva de Subida	
a	-0,769603614
b	6,061782864

## HIDROGRAMA DE PROJETO

t (min)	t (h)	HU (1mm)	P efetiva (mm)	P1*hu	P2*hu	P3*hu	P4*hu	P5*hu	P6*hu	P7*hu	P8*hu	P9*hu	P10*hu	P11*hu	P12*hu	P13*hu	P14*hu	P15*hu	Q Final (m³/s)	Volume (1000.m³)
0	0,00	0,00	0,00	0,00															0,00	0,00
36	0,60	0,77	0,00	0,00	0,00														0,00	0,00
72	1,20	1,54	0,00	0,00	0,00	0,00													0,00	0,00
108	1,80	2,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												0,00	0,00
144	2,40	3,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											0,00	0,00
180	3,00	3,75	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00										0,00	0,00
216	3,60	3,29	2,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00									0,26	0,56
252	4,20	2,83	26,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51	1,64	0,00								2,16	4,66
288	4,80	2,37	11,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,77	3,29	20,45	0,00							24,51	52,94
324	5,40	1,91	5,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,03	4,93	40,91	8,51	0,00						55,38	119,61
360	6,00	1,44	3,41	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,25	6,57	61,36	17,02	3,91	0,00					90,11	194,65
396	6,60	0,98	2,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	8,00	81,82	25,53	7,82	2,63	0,00				126,89	274,08
432	7,20	0,52	2,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94	7,01	99,54	34,04	11,72	5,26	2,02	0,00			160,55	346,79
468	7,80	0,06	1,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,79	6,03	87,30	41,42	15,63	7,89	4,04	1,66	0,00		164,76	355,89
504	8,40	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,64	5,04	75,05	36,32	19,02	10,52	6,07	3,32	1,42	0,00	157,40	339,99
540	9,00	0,00				0,00	0,00	0,00	0,48	4,06	62,80	31,23	16,68	12,80	8,09	4,99	2,84	1,25	145,21	313,66
576	9,60						0,00	0,00	0,33	3,08	50,55	26,13	14,34	11,23	9,84	6,65	4,26	2,50	128,90	278,43
612	10,20							0,00	0,17	2,09	38,31	21,04	12,00	9,65	8,63	8,09	5,69	3,75	109,41	236,32
648	10,80								0,02	1,11	26,06	15,94	9,66	8,08	7,42	7,09	6,92	5,00	87,28	188,53
684	11,40									0,13	13,81	10,84	7,32	6,50	6,21	6,10	6,07	6,08	63,05	136,18
720	12,00										1,56	5,75	4,98	4,93	5,00	5,10	5,22	5,33	37,86	81,77
756	12,60											0,65	2,64	3,35	3,79	4,11	4,36	4,58	23,48	50,72
792	13,20												0,30	1,78	2,58	3,11	3,51	3,83	15,11	32,64
828	13,80													0,20	1,37	2,12	2,66	3,09	9,43	20,37
864	14,40														0,15	1,12	1,81	2,34	5,43	11,72
900	15,00															0,13	0,96	1,59	2,68	5,78
936	15,60																0,11	0,84	0,95	2,06
972	16,20																	0,10	0,10	0,21

VOLUME ESCOADO (1000m³)	3027,79
VOLUME PRECIPITADO	6075,34
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	0,50

<b>Q projeto (m³/s)</b>	<b>164,76</b>
-------------------------	---------------

## PONTE 100 ANOS

### IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA

<b>Tipo de Estrutura</b>	Ponte	<b>Localização</b>	VRS 039
--------------------------	-------	--------------------	---------

### CARACTERÍSTICAS DA BACIA HIDROGRÁFICA

<b>Área da bacia</b>	282,470 km <sup>2</sup>	<b>L</b>	34,81 km	<b>Declividade</b>	0,010 m/m
----------------------	-------------------------	----------	----------	--------------------	-----------

### ELEMENTOS CALCULADOS

<b>tc, calc</b>	403,950 min	<b>tc, adot</b>	404,000 min	<b>tr</b>	449,898 min
<b>Δt</b>	54,000 min	<b>tp</b>	242,400 min	<b>tb</b>	719,298 min
<b>qp</b>	13,085 m <sup>3</sup> /s	<b>tm</b>	269,400 min		

### PRECIPITAÇÃO EFETIVA (mm)

<b>CN</b>	82	<b>TR</b>	100 anos	<b>S</b>	55,756 mm	<b>la</b>	11,151 mm
		<b>Duração</b>	756 min	<b>β</b>	53,72 km	<b>Ka</b>	0,872

Tempo (min)	Pacum (mm)	Pdeascum (mm)	Índice	Pordenada (mm)	Proj acum (mm)	Pef acum (mm)	Pef (mm)
54	53,12	53,12	13	2,20	2,20	0,00	0
108	67,80	14,67	11	2,54	4,74	0,00	0
162	76,72	8,92	9	3,03	7,77	0,00	0
216	83,25	6,54	7	3,80	11,56	0,00	0,00
270	88,48	5,22	5	5,22	16,79	0,52	0,51
324	92,86	4,38	3	8,92	25,71	3,01	2,50
378	96,66	3,80	1	53,12	78,83	37,11	34,09
432	100,02	3,36	2	14,67	93,50	49,10	12,00
486	103,05	3,03	4	6,54	100,04	54,63	5,52
540	105,81	2,76	6	4,38	104,42	58,38	3,75
594	108,34	2,54	8	3,36	107,79	61,28	2,90
648	110,70	2,36	10	2,76	110,54	63,67	2,40
702	112,90	2,20	12	2,36	112,90	65,73	2,06
756	114,97	2,07	14	2,07	114,97	67,54	1,81
Somatórios							67,54

### HIDROGRAMA UNITÁRIO DE PROJETO

Ordenadas	
T (h)	Q (m <sup>3</sup> /s)
0,00	0,00
4,49	13,09
11,99	0,00

Curva de Subida	
a	2,91435856
b	0
Curva de Subida	
a	-1,745124886
b	20,92108067

## HIDROGRAMA DE PROJETO

t (min)	t (h)	HU (1mm)	P efetiva (mm)	P1*hu	P2*hu	P3*hu	P4*hu	P5*hu	P6*hu	P7*hu	P8*hu	P9*hu	P10*hu	P11*hu	P12*hu	P13*hu	P14*hu	P15*hu	Q Final (m³/s)	Volume (1000.m³)	
0	0,00	0,00	0,00	0,00															0,00	0,00	
54	0,90	2,62	0,00	0,00	0,00														0,00	0,00	
108	1,80	5,25	0,00	0,00	0,00	0,00													0,00	0,00	
162	2,70	7,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												0,00	0,00	
216	3,60	10,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00											0,00	0,00	
270	4,50	13,07	0,51	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00										0,01	0,03	
324	5,40	11,50	2,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	1,35	0,00									1,36	4,42	
378	6,30	9,93	34,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	2,70	6,55	0,00								9,27	30,02	
432	7,20	8,36	12,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	4,05	13,09	89,43	0,00							106,60	345,37	
486	8,10	6,79	5,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	5,39	19,64	178,86	31,47	0,00						235,39	762,67	
540	9,00	5,21	3,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	6,72	26,18	268,28	62,93	14,48	0,00					378,63	1226,77	
594	9,90	3,64	2,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	5,91	32,61	357,71	94,40	28,96	9,84	0,00				529,46	1715,46	
648	10,80	2,07	2,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	5,10	28,69	445,55	125,86	43,45	19,68	7,61	0,00			675,97	2190,14	
702	11,70	0,50	2,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	4,30	24,77	392,00	156,77	57,93	29,52	15,22	6,28	0,00		686,81	2225,27	
756	12,60	0,00	1,81		0,00	0,00	0,00	0,02	3,49	20,85	338,45	137,93	72,15	39,36	22,84	12,57	5,39	0,00	653,04	2115,86	
810	13,50	0,00				0,00	0,00	0,01	2,68	16,93	284,90	119,08	63,48	49,02	30,45	18,85	10,78	4,75	600,95	1947,08	
864	14,40						0,00	0,01	1,87	13,01	231,35	100,24	54,81	43,13	37,93	25,13	16,18	9,50	533,16	1727,45	
918	15,30							0,00	1,07	9,09	177,80	81,40	46,14	37,24	33,37	31,31	21,57	14,25	453,23	1468,47	
972	16,20								0,26	5,17	124,25	62,56	37,47	31,35	28,81	27,54	26,87	18,99	363,27	1177,00	
1026	17,10									1,26	70,70	43,72	28,79	25,46	24,25	23,78	23,64	23,66	265,25	859,42	
1080	18,00										17,15	24,88	20,12	19,56	19,69	20,02	20,41	20,81	162,65	526,99	
1134	18,90											6,04	11,45	13,67	15,13	16,26	17,18	17,97	97,70	316,54	
1188	19,80												2,78	7,78	10,58	12,49	13,95	15,13	62,71	203,16	
1242	20,70													1,89	6,02	8,73	10,72	12,28	39,64	128,44	
1296	21,60															4,97	7,49	9,44	21,90	70,96	
1350	22,50																4,26	6,60	10,86	35,19	
1404	23,40																	3,75	3,75	12,16	
1458	24,30																	0,91	0,91	2,95	

VOLUME ESCOADO (1000m³)	19084,44
VOLUME PRECIPITADO	32474,43
COEFICIENTE DE ESCOAMENTO	0,59

<b>Q projeto (m³/s)</b>	<b>686,81</b>
-------------------------	---------------

## APÊNDICE C – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: BUEIRO

Análise Hidráulica: Bueiro - TR 25 anos		
Seção do Rio a Montante	Seção do Bueiro	Seção do Rio a Jusante
Q25 42,35 m <sup>3</sup> /s i 0,007 m/m n 0,038	Q25 42,35 m <sup>3</sup> /s i 0,005 m/m n 0,015	Q25 42,35 m <sup>3</sup> /s i 0,007 m/m n 0,038
yn 2,100 m m 0,53 m b 6,20 m B 8,426 m	yn 2,289 m m 0 m b 5,40 m B 5,40 m	yn 2,100 m m 0,53 m b 6,20 m B 8,426 m
A 15,356 m <sup>2</sup> P 10,953 m Rh 1,402 m	A 12,363 m <sup>2</sup> P 19,958 m Rh 0,619 m	A 15,356 m <sup>2</sup> P 10,953 m Rh 1,402 m
Q 42,35 m <sup>3</sup> /s v 2,758 m/s	Q 42,35 m <sup>3</sup> /s v 3,425573 m/s	Q 42,3499 m <sup>3</sup> /s v 2,758 m/s
<b>Lâmina Crítica</b> Q25 42,350 m <sup>3</sup> /s B 8,426 m g 9,81 m <sup>2</sup> /s A 11,549 m <sup>2</sup> yc 1,579 m	<b>Lâmina Crítica</b> q 7,843 m <sup>3</sup> /s B 5,400 m g 9,81 m <sup>2</sup> /s yc 2,090 m	<b>Lâmina Crítica</b> Q25 42,350 m <sup>3</sup> /s B 8,426 m g 9,81 m <sup>2</sup> /s A 11,549 m <sup>2</sup> yc 1,579 m
Q 42,35 m <sup>3</sup> /s	Q 42,35 m <sup>3</sup> /s	Q 42,35 m <sup>3</sup> /s
y 2,100 m yc 1,579 m	y 2,289 m yc 2,090 m	y 2,100 m yc 1,579 m
<b>y &gt; yc = regime subcrítico</b>	<b>y &gt; yc = regime subcrítico</b>	<b>y &gt; yc = regime subcrítico</b>
<b>Energia</b> E1 2,487 m Ec 2,369 m	<b>Energia</b> E2 2,888 m Ec 3,135 m	<b>Energia</b> E3 2,487 m Ec 2,369 m

Verificação Hidráulica: Bueiro	
Seção do Rio a Montante	Seção do Bueiro
E1 1,62 y1 1,49 m v1 1,62 m/s Q 16,91 m <sup>3</sup> /s C 0,3 A 10,41 m <sup>2</sup> b 6,20 m m 0,53 m B 7,78 m	E2 = Ec = 1,50m Ec 1,50 m E2 1,50 m y2 1,00 m B 5,40 m  v 3,13 m/s Q 16,91 m <sup>3</sup> /s
	Perdas
	dE 0 ΔHt -0,11 m

## APÊNDICE D – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTILHÃO

### Análise Hidráulica: Pontilhão

#### Seção do rio a montante

Q <sub>100</sub>	164,00	m <sup>3</sup> /s
i	0,004	m/m
n	0,038	

<b>y</b>	<b>6,3677963</b>	<b>m</b>
m	0,4	m
b	5,5	m
B	10,594237	m

A	51,24	m <sup>2</sup>
P	19,22	m
Rh	2,67	m

Q	164,00	m <sup>3</sup> /s
v	3,20	m/s

Lâmina Crítica		
Q <sub>100</sub>	164,00	m <sup>3</sup> /s
B	10,59	m
b	5,50	m
g	9,81	m <sup>2</sup> /s
A	30,74	m <sup>2</sup>
<b>yc</b>	<b>3,82</b>	<b>m</b>

Q	164,00	m <sup>3</sup> /s
vc	5,34	m/s

y	6,368	m
yc	3,820	m

**y > yc = regime subcrítico**

Energia		
E1	6,890	m
Ec	5,272	m

#### Seção do pontilhão

Q <sub>100</sub>	164,00	m <sup>3</sup> /s
i	0,004	m/m
n	0,038	

<b>y</b>	<b>10,64</b>	<b>m</b>
m	0,00	m
b	5,50	m
B	5,50	m

A	58,52	m <sup>2</sup>
P	26,78	m
Rh	2,19	m

Q	164,00	m <sup>3</sup> /s
v	2,80	m/s

Lâmina Crítica		
Q <sub>100</sub>	164,00	m <sup>3</sup> /s
B	5,50	m
g	9,81	m <sup>2</sup> /s
A	24,71	m <sup>2</sup>
<b>yc</b>	<b>4,49</b>	<b>m</b>

Q	164,00	m <sup>3</sup> /s
vc	16,72	m/s

y	10,639	m
yc	4,492	m

**y > yc = regime subcrítico**

Energia		
E1	11,040	m
Ec	6,738	m

### Verificação Hidráulica: Pontilhão

Bernoulli		
E1	6,89	m
V	7,67	m/s
<b>yadm</b>	<b>4</b>	<b>m</b>
b	5,50	m
B	5,50	m
Q <sub>100</sub>	164,00	m <sup>3</sup> /s
A	21,38	m <sup>2</sup>

### Análise Hidráulica: Pontilhão (TR suportado)

#### Seção do pontilhão

Q	22,57	m <sup>3</sup> /s
i	0,005	m/m
n	0,038	

<b>h</b>	<b>2,00</b>	<b>m</b>
m	0,00	m
b	5,50	m
B	5,50	m

A	11,00	m <sup>2</sup>
P	9,50	m
Rh	1,16	m

<b>Qadm</b>	<b>22,57</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>
v	2,05	m/s

Lâmina Crítica		
Q	22,57	m <sup>3</sup> /s
B	5,50	m
g	9,81	m <sup>2</sup> /s
A	6,59	m <sup>2</sup>
<b>hc</b>	<b>1,20</b>	<b>m</b>

Q	22,57	m <sup>3</sup> /s
vc	2,30	m/s

Energia		
E1	2,215	m
Ec	1,467	m

## APÊNDICE E – ANÁLISE E VERIFICAÇÃO HIDRÁULICA: PONTE

Análise Hidráulica: Ponte (Vazão de Projeto)			Análise Hidráulica: Ponte (TR suportado)		
<b>Seção do rio a montante</b>			<b>Seção da ponte</b>		
Q <sub>100</sub>	686,81	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>100</sub>	686,81	m <sup>3</sup> /s
i	0,00	m/m	i	0,00	m/m
n	0,04		n	0,04	
<b>y</b>	<b>8,32</b>	<b>m</b>	<b>y</b>	<b>11,41</b>	<b>m</b>
m	0,30		m	0,00	
b	28,80	m	b	22,70	m
B	33,79	m	B	22,70	m
A	260,46	m <sup>2</sup>	A	258,96	m <sup>2</sup>
P	46,18	m	P	45,52	m
Rh	5,64	m	Rh	5,69	m
Q	686,81	m <sup>3</sup> /s	Q	686,81	m <sup>3</sup> /s
v	2,64	m/s	v	2,65	m/s
<b>Lâmina Crítica</b>			<b>Lâmina Crítica</b>		
Q <sub>100</sub>	686,81	m <sup>3</sup> /s	Q <sub>100</sub>	686,81	m <sup>3</sup> /s
B	36,02	m	B	22,70	m
b	28,80	m			
g	9,81	m <sup>2</sup> /s	g	9,81	m <sup>2</sup> /s
A	120,09	m <sup>2</sup>	A	102,96	m <sup>2</sup>
yc	3,71	m	yc	4,54	m
Q	686,81	m <sup>3</sup> /s	Q	686,81	m <sup>3</sup> /s
v	5,72	m/s	v	6,67	m/s
y	8,322	m	y	11,408	m
yc	3,705	m	yc	4,536	m
<b>y &gt; yc = regime subcrítico</b>			<b>y &gt; yc = regime subcrítico</b>		
<b>Energia</b>			<b>Energia</b>		
E1	8,68	m	E2	11,77	m
Ec	5,37	m	Ec	6,81	m
<b>Verificação Hidráulica: Ponte</b>			<b>Verificação Hidráulica: Ponte</b>		
<b>Bernoulli</b>			<b>Bernoulli</b>		
E1	8,68	m	E1	4,90	m
V	3,81	m/s	v	2,75	m/s
yadm	8	m	yadm	4,52	m
b	22,70	m	b	22,70	m
B	22,70	m	B	22,70	m
Q <sub>100</sub>	686,81	m <sup>3</sup> /s	Q	281,49	m <sup>3</sup> /s
A	180,13	m <sup>2</sup>	A	102,50	m <sup>2</sup>
v	3,81	m/s	v	2,75	m/s

## APÊNDICE F – FICHAS DE INSPEÇÃO

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Bueiro Santuário</b>			
Número de Identificação: <b>1</b>			
Natureza da Transposição:			
<input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO		<input type="checkbox"/> PONTILHÃO	
<input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>VRS 868</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>7,00</b> metros;			
Largura: <b>6,60</b> metros;			
Tipo de seção: <b>Retangular</b>			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>7,00</b> metros			
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>			
Pavimento: <b>Asfalto</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO			
Tipo de seção: <b>Celular</b>			
Nº de linhas: <b>2</b>			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
Nomenclatura: <b>BDCC</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>0,15</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA			
<input type="checkbox"/> REGULAR			
<input type="checkbox"/> RUIM			



FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Ponte Santuário</b>			
Número de Identificação: <b>2</b>			
Natureza da Transposição:			
<input type="checkbox"/> BUEIRO		<input type="checkbox"/> PONTILHÃO	
<input checked="" type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>VRS 868</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>17,80</b> metros;			
Largura: <b>3,60</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>3,60</b> metros			
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>			
Pavimento: <b>Madeira</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Madeira e Estrutura Metálica</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>1,50</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA			
<input type="checkbox"/> REGULAR			
<input type="checkbox"/> RUIM			



FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>25/03/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Ponte Santuário 2</b>	
Número de Identificação: <b>3</b>	
Natureza da Transposição:	
<input type="checkbox"/> BUEIRO	
<input checked="" type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>VRS 868</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>17,80</b> metros;	
Largura: <b>3,60</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>3,60</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Madeira</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Madeira e Estrutura Metálica</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>1,20</b> metros	
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>22/07/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Pontilhão TK 32</b>	
Número de Identificação: <b>4</b>	
Natureza da Transposição:	
<input type="checkbox"/> BUEIRO	
<input checked="" type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>TK 32</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>2,70</b> metros;	
Largura: <b>5,00</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>5,00</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Madeira</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Madeira</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>0,70</b> metros	
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>22/07/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Pontilhão TK 32</b>	
Número de Identificação: <b>5</b>	
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>TK 32</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>2,60</b> metros;	
Largura: <b>5,80</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>5,80</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Madeira</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Madeira</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>0,10</b> metros	
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura: <input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM	

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>07/10/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Pontilhão TK 32</b>	
Número de Identificação: <b>6</b>	
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>TK 32</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>3,30</b> metros;	
Largura: <b>4,30</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>4,30</b> metros	
Nº de faixas: <b>1 faixa</b>	
Pavimento: <b>Madeira</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Madeira</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>0,35</b> metros	
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura: <input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM	

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>22/07/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Pontilhão Amoras</b>			
Número de Identificação: <b>7</b>			
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 36</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>8,40</b> metros;			
Largura: <b>7,80</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>7,80</b> metros			
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>			
Pavimento: <b>Concreto</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: <b>~ 0,60</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM			

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>22/07/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Pontilhão Amoras</b>			
Número de Identificação: <b>8</b>			
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 36</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>7,40</b> metros;			
Largura: <b>4,20</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>4,20</b> metros			
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>			
Pavimento: <b>Concreto</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: <b>~ 0,55</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM			

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA:	25/03/2018
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome:	<b>Bueiro TK 40</b>
Número de Identificação:	<u>9</u>
Natureza da Transposição:	<input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada):	<b>TK 40</b>
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento:	<u>1,60</u> metros;
Largura:	<u>5,70</u> metros;
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista:	<u>5,70</u> metros
Nº de faixas:	<b>2 faixas</b>
Pavimento:	<b>Estrada de Terra</b>
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO	
Tipo de seção:	<b>Celular</b>
Nº de linhas	<u>1</u>
Material Empregado na Construção:	<b>Concreto</b>
Nomenclatura:	<b>BSTC</b>
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água:	~ <u>0,10</u> metros
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM



FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA:	06/10/2018
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome:	<b>Pontilhão TK 09</b>
Número de Identificação:	<u>10</u>
Natureza da Transposição:	<input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada):	<b>TK 09</b>
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento:	<u>5,90</u> metros;
Largura:	<u>5,20</u> metros;
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista:	<u>5,20</u> metros
Nº de faixas:	<b>1 Faixa</b>
Pavimento:	<b>Madeira</b>
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção:	<b>Madeira</b>
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água:	~ <u>0,25</u> metros
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM



FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA:	06/10/2018
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome:	<b>Pontilhão TK 09</b>
Número de Identificação:	<b>11</b>
Natureza da Transposição:	<input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada):	<b>TK 09</b>
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento:	<b>4,30</b> metros;
Largura:	<b>5,20</b> metros;
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista:	<b>5,20</b> metros
Nº de faixas:	<b>1 Faixa</b>
Pavimento:	<b>Concreto</b>
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água:	~ <b>0,45</b> metros
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM



FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA:	06/10/2018
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome:	<b>Bueiro TK 09</b>
Número de Identificação:	<b>12</b>
Natureza da Transposição:	<input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE
Localização (estrada):	<b>TK 09</b>
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento:	<b>2,50</b> metros;
Largura:	<b>4,00</b> metros;
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista:	<b>4,00</b> metros
Nº de faixas:	<b>1 faixa</b>
Pavimento:	<b>Estrada de Terra</b>
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO	
Tipo de seção:	<b>Celular</b>
Nº de linhas:	<b>2</b>
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>	
Nomenclatura: <b>BDTC</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água:	~ <b>0,10</b> metros
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input checked="" type="checkbox"/> RUIM



FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>06/10/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Pontilhão TK 09</b>			
Número de Identificação: <b>13</b>			
Natureza da Transposição:			
<input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 09</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>7,00</b> metros;			
Largura: <b>6,00</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>6,00</b> metros			
Nº de faixas: <b>1 Faixa</b>			
Pavimento: <b>Concreto</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: <b>~ 0,20</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM			

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>06/10/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Pontilhão Costa do Santa Cruz</b>			
Número de Identificação: <b>14</b>			
Natureza da Transposição:			
<input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>VRS 039</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>4,80</b> metros;			
Largura: <b>6,80</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>4,80</b> metros			
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>			
Pavimento: <b>Concreto</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: <b>~ 0,40</b> metros			
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O regime do rio é torrencial: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO			
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO			
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura: <input type="checkbox"/> BOA <input checked="" type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM			

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Pontilhão Costa do Santa Cruz</b>			
Número de Identificação: <b>15</b>			
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>VRS 039</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>5,80</b> metros;			
Largura: <b>4,80</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>4,80</b> metros			
Nº de faixas: <b>1 Faixa</b>			
Pavimento: <b>Madeira</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:			
Material Empregado na Construção: <b>Madeira</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>0,20</b> metros			
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA	<input type="checkbox"/> REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/> RUIM

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Bueiro Campo de Estado</b>			
Número de Identificação: <b>16</b>			
Natureza da Transposição: <input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 02</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>3,00</b> metros;			
Largura: <b>9,10</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>9,10</b> metros			
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>			
Pavimento: <b>Estrada de Terra</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO			
Tipo de seção: <b>Tubular</b>			
Nº de linhas: <b>1</b>			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
Nomenclatura: <b>BSTC</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>0,50</b> metros			
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível:	<input checked="" type="checkbox"/> SIM	<input type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA	<input type="checkbox"/> REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/> RUIM

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>25/03/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Bueiro Campo de Estado</b>	
Número de Identificação: <b>17</b>	
Natureza da Transposição: <input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>TK 02</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>8,30</b> metros;	
Largura: <b>5,00</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>5,00</b> metros	
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>	
Pavimento: <b>Estrada de Terra</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO	
Tipo de seção: <b>Tubular</b>	
Nº de linhas: <b>2</b>	
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>	
Nomenclatura: <b>BDTC</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>1,20</b> metros	
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura: <input checked="" type="checkbox"/> BOA <input type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM	

FICHA DE INSPEÇÃO	
DATA: <b>06/10/2018</b>	
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO	8. FOTOGRAFIAS DA VISITA
Nome: <b>Pontilhão Campo de Estado</b>	
Número de Identificação: <b>18</b>	
Natureza da Transposição: <input type="checkbox"/> BUEIRO <input checked="" type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE	
Localização (estrada): <b>TK 02</b>	
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES	
Comprimento: <b>4,40</b> metros;	
Largura: <b>5,00</b> metros;	
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS	
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:	
Largura Total da Pista: <b>5,00</b> metros	
Nº de faixas: <b>2 faixas</b>	
Pavimento: <b>Concreto</b>	
3.2 CARACTERÍSTICAS DA ESTRUTURA:	
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>	
4. OUTROS ASPECTOS	
Lamina d'água: ~ <b>0,70</b> metros	
O meio ambiente é agressivo: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial: <input type="checkbox"/> SIM <input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível: <input checked="" type="checkbox"/> SIM <input type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL	
Condições gerais da estrutura: <input type="checkbox"/> BOA <input checked="" type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> RUIM	

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Bueiro Asilo</b>			
Número de Identificação: <b>19</b>			
Natureza da Transposição:			
<input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 01</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>6,80</b> metros;			
Largura: <b>1,80</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>6,80</b> metros			
Nº de faixas: <b>1 Faixa</b>			
Pavimento: <b>Estrada de Terra</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO			
Tipo de seção: <b>Tubular</b>			
Nº de linhas: <b>1</b>			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
Nomenclatura: <b>BSTC</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>0,60</b> metros			
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA	<input type="checkbox"/> REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/> RUIM

FICHA DE INSPEÇÃO			
DATA: <b>25/03/2018</b>			
1. IDENTIFICAÇÃO/LOCALIZAÇÃO		8. FOTOGRAFIAS DA VISITA	
Nome: <b>Bueiro TK 04</b>			
Número de Identificação: <b>20</b>			
Natureza da Transposição:			
<input checked="" type="checkbox"/> BUEIRO <input type="checkbox"/> PONTILHÃO <input type="checkbox"/> PONTE			
Localização (estrada): <b>TK 04</b>			
2. LEVANTAMENTO DAS SEÇÕES			
Comprimento: <b>5,50</b> metros;			
Largura: <b>5,30</b> metros;			
3. CARACTERÍSTICAS FUNCIONAIS			
3.1 CARACTERÍSTICAS DA PISTA:			
Largura Total da Pista: <b>5,30</b> metros			
Nº de faixas: <b>1 Faixa</b>			
Pavimento: <b>Estrada de Terra</b>			
3.2 CARACTERÍSTICAS DO BUEIRO			
Tipo de seção: <b>Tubular</b>			
Nº de linhas: <b>1</b>			
Material Empregado na Construção: <b>Concreto</b>			
Nomenclatura: <b>BSTC</b>			
4. OUTROS ASPECTOS			
Lamina d'água: ~ <b>0,50</b> metros			
O meio ambiente é agressivo:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O regime do rio é torrencial:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
O leito do rio é erodível:	<input type="checkbox"/> SIM	<input checked="" type="checkbox"/> NÃO	
5. AVALIAÇÃO FINAL			
Condições gerais da estrutura:	<input type="checkbox"/> BOA	<input type="checkbox"/> REGULAR	<input checked="" type="checkbox"/> RUIM

Obs.: Vegetação densa impossibilitou a fotografia do tubo.