

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG

ENGENHARIA CIVIL

GABRIELLA ARAUJO AZEVEDO

**PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM NO
QUILÔMETRO 29,1 DA RODOVIA MG-167**

**Varginha
2017**

GABRIELLA ARAUJO AZEVEDO

**PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM NO
QUILÔMETRO 29,1 DA RODOVIA MG-167**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação da Prof. Luana Ferreira Mendes.

**Varginha
2017**

GABRIELLA ARAUJO AZEVEDO

**PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DO SISTEMA DE DRENAGEM NO
QUILÔMETRO 29,1 DA RODOVIA MG-167**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do
Centro Universitário do Sul de Minas como pré-requisito
para obtenção do grau de bacharel pela Banca
Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /

Prof. Luana Ferreira Mendes.

Prof.

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a minha querida mãe Vera, que esteve incansavelmente ao meu lado nas conquistas e dificuldades, doando seu tempo, afeto e amor sempre que precisei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus que me agraciou com saúde e força. Ao meu pai Denilson, que me deixou de herança seus exemplos, que foram essenciais para que eu não desistisse de concluir esse trabalho apesar das dificuldades encontradas no caminho. A minha mãe Vera, que foi meu amparo em todos os momentos. Ao meu irmão Daniel Jaci, que me inspira ser alguém melhor. A minha querida Vozinha, por todo carinho, atenção e amor. Ao meu namorado Rubens Júnior pelo amor, paciência e compreensão. A todos os meus familiares e amigos que me incentivaram a nunca desistir e sempre entenderam minhas ausências. A toda equipe da 10ª Coordenadoria do DEER/MG, por todo conhecimento que me proporcionaram, em especial os engenheiros Raimundo Zaiden, Caio César de Lima, João Tadeu da Costa e William Bahia Pimenta. Aos meus colegas de graduação pela amizade e por estarmos sempre unidos, uns ajudando os outros. Aos meus mestres, em especial ao meu querido amigo e gestor Dr. Luiz Carlos Vieira Guedes por alegrar a minha graduação, a Me. Ivana Prado de Vasconcelos por contribuir com suas dicas, conselhos e puxões de orelha, ao Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior, que foi o primeiro a me incentivar e colaborar com seus conhecimentos e por fim agradeço a minha orientadora Luana Ferreira Mendes pela paciência e empenho para que esse trabalho fosse realizado da melhor maneira possível.

“Se tens de lidar com água, consulta primeiro a experiência, e depois a razão”.

Leonardo da Vinci

RESUMO

Este trabalho analisa os problemas de drenagem de transposição de talvegues do quilômetro 29,1 do trecho Três Pontas/Entr^o BR-491 A (Varginha) da rodovia MG-167. O propósito deste estudo é diagnosticar os problemas de drenagem que causaram erosões sobre um bueiro de grotta, caracterizado como BSTM. Este intento será conseguido através de pesquisas bibliográficas, levantamento dos dados hidrológicos para caracterização da bacia de contribuição, visitas in loco para aquisição de dados e consultas no órgão responsável pela rodovia. Uma vez calculada a vazão da bacia de contribuição comparou-se com a capacidade de transporte do bueiro já existente. A análise comprovou que a vazão da bacia de contribuição é maior do que a vazão que o bueiro é capaz de transportar, o que evidenciou que o mesmo não foi dimensionado para suportar sozinho toda a vazão da bacia, entretanto com a análise dos demais bueiros constados em projeto e que atualmente estão todos sem função hidráulica, fica provado que o bueiro estudado não foi mal dimensionado, porém com a degradação dos demais, ele foi sobrecarregado, por estar localizado no ponto mais baixo da bacia hidrográfica. Sendo assim, entendeu-se que a melhor forma de readequar o sistema de drenagem do local seria a substituição do bueiro existente por outro capaz de transportar toda a vazão da bacia. Foi proposta a implantação de um BSCC e realizado o seu dimensionamento, bem como o projeto do mesmo. Uma vez dimensionado esse novo sistema, foi estimado que o custo para sua implantação seria de R\$ 398.857,21.

Palavras-chave: Bueiro. Rodovias. Transposição de Talvegues.

ABSTRACT

This work analyzes the transplant drainage problems of kilometer 29.1 of the Três Pontas / Entr ° BR-491 A section (Varginha) of the MG-167 highway. The purpose of this study is to diagnose the drainage problems that caused erosion on a grove culvert, characterized as BSTM. This attempt will be achieved through bibliographical research, hydrological data collection for characterization of the contribution basin, on-site visits for data acquisition and consultation at the agency responsible for the highway. Once the flow of the contribution basin was calculated, it was compared to the capacity of the already existing culvert. The analysis showed that the flow of the contribution basin is greater than the flow that the drainage is able to carry, which showed that it was not designed to support all the flow of the basin alone, however with the analysis of the other sewers in project and currently all without hydraulic function, it is proved that the manhole studied was not poorly sized, but with the degradation of the others, it was overloaded, being located at the lowest point of the river basin. Therefore, it was understood that the best way to re-adjust the drainage system of the site would be to replace the existing sewer with another capable of transporting all the flow of the basin. It was proposed the implementation of a BSCC and its dimensioning, as well as the design of the same. Once this new system was scaled, it was estimated that the cost for its implementation would be R\$398.857,21.

Keywords: *Culvert. Highways. Transposition of Talvegues.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tipos de bueiros.....	22
Figura 2 - Classificação dos bueiros quanto à forma e número de linhas	23
Figura 3 - Bueiro normal	23
Figura 4 - Bueiro esconso.....	24
Figura 5 - Declividades acentuadas e baixas	26
Figura 6 - Ponte sobre o Rio Verde, rodovia BR-491, Varginha/MG.....	27
Figura 7 - Pontilhão localizado na rodovia que liga Baependi à comunidade de Congonhal ..	28
Figura 8 - Delimitação de uma bacia.....	29
Figura 9 - Hidrograma Unitário Adimensional e Triangular.....	37
Figura 10 - Canal ou conduto livre em (a, b, c) e forçado em (d)	38
Figura 11 - Seções transversais e profundidade crítica nos canais.....	39
Figura 12 - Grandezas Hidráulicas dos bueiros tubulares	40
Figura 13 - Grandezas Hidráulicas dos bueiros celulares.....	41
Figura 14 - Folga ou borda livre.....	44
Figura 15 - Bueiro trabalhando como orifício	47
Figura 16 - Rodovia MG-167	51
Figura 17 - Local de Estudo	52
Figura 18 - Bueiro danificado.....	53
Figura 19 - Erosões sobre o bueiro.....	53
Figura 20 - Bueiro obstruído.	54
Figura 21 - Bueiro com declividade deficiente.	54
Figura 22 - Projeto do trecho em estudo.	55
Figura 23 - Bacia de Contribuição do local em estudo.....	56
Figura 24 - Parâmetros empíricos para cálculo da intensidade de chuva.....	65
Figura 25 - Condições internas do bueiro com o sentido de escoamento da água	81
Figura 26 - Condições internas do bueiro com o sentido de escoamento da água	81
Figura 27 - Erosões sobre o bueiro	82
Figura 28 - Erosões sobre o bueiro.....	82
Figura 29 - Medição do comprimento do bueiro.....	83
Figura 30 - Medição do diâmetro do bueiro.....	83
Figura 31 - Vista panorâmica com indicação do ponto de estudo.....	84
Figura 32 - Croqui do bueiro de acordo com a Diretoria de Projetos do DEER/MG	97

Figura 33 - Relatório de Sondagem de Solo a Percussão	99
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Velocidade máxima em canais de acordo com o material empregado	25
Quadro 2 - Velocidade mínima em canais de acordo com a água.....	25
Quadro 3 - Valores recomendados para tempo de recorrência.....	31
Quadro 4 - Valores recomendados para Tempo de Recorrência	31
Quadro 5 - Coeficientes de Run-off	33
Quadro 6 - Coeficientes de Rugosidade de Manning - n.....	43
Quadro 7 - Parâmetros para canais e/ou seção circular das galerias de águas pluviais.....	44
Quadro 8 - Coeficientes de Vazão para bueiros tubulares segundo Manning.....	48
Quadro 9 - Parâmetros para bueiros tubulares trabalhando como orifício	48
Quadro 10 - Vazão e velocidade dos bueiros celulares para cargas hidráulicas	49
Quadro 11 - Definição de áreas e coeficientes de escoamento superficial.....	65
Quadro 12 - Resumo do custo da obra	76
Quadro 13 - Planilha Orçamentária	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BDCC	Bueiro Duplo Celular de Concreto
BDTC	Bueiro Duplo Tubular de Concreto
BDTM	Bueiro Duplo Tubular Metálico
BSCC	Bueiro Simples Celular de Concreto
BSTC	Bueiro Simples Tubular de Concreto
BSTM	Bueiro Simples Tubular Metálico
BTCC	Bueiro Triplo Celular de Concreto
BTTC	Bueiro Triplo Tubular de Concreto
BTTM	Bueiro Triplo Tubular Metálico
CREAMG	Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Estado de Minas Gerais
DEERMG	Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
ENTR°	Entroncamento
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
IME	Instituto Militar de Engenharia
PEAD	Polietileno de alta densidade
PRFV	Plástico reforçado de fibra de vidro
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UFV	Universidade Federal de Viçosa

LISTA DE SÍMBOLOS

<i>A</i>	Área molhada
<i>B</i>	Base do bueiro
<i>C</i>	Coefficiente de Deflúvio
<i>d</i>	Altura da lâmina d'água
<i>D_m</i>	Declividade média do talvegue principal
<i>D</i>	Diâmetro
<i>DU</i>	Duração unitária da chuva
<i>F</i>	Número de Froude
<i>g</i>	Aceleração da gravidade
<i>H</i>	Diferença de cotas entre a saída da bacia e ponto mais alto do talvegue
<i>I</i>	Intensidade de chuva
<i>I</i>	Declividade do bueiro
<i>Im</i>	Intensidade média
<i>L</i>	Comprimento do talvegue principal
<i>LAG</i>	Tempo entre metade da chuva e o instante de pico
<i>n</i>	coeficiente de rugosidade de Manning
<i>P</i>	Perímetro molhado
<i>ρ</i>	Fração da área da bacia coberta com vegetação
<i>Q</i>	Vazão
<i>Q_p</i>	Descarga máxima
<i>R</i>	Raio hidráulico
<i>S</i>	Declividade do talvegue
<i>tb</i>	Tempo de base do hidrograma
<i>tc</i>	Tempo de concentração
<i>tp</i>	Tempo de pico
<i>tr</i>	Período de retorno
<i>V</i>	Velocidade
<i>Y</i>	Profundidade do fluxo
<i>∅</i>	Coefficiente de Retardo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos.....	19
1.1.1	Objetivo Geral	19
1.1.2	Objetivos Específicos	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Drenagem	20
2.2	Sistemas de Microdrenagem.....	20
2.3	Sistemas de Macrodrenagem.....	20
2.4	Drenagem de Rodovias	21
2.4.1	Drenagem de Transposição de Talvegues	21
2.5	Estudos Hidrológicos.....	28
2.5.1	Bacias de Contribuição	28
2.5.2	Intensidade de Precipitação	29
2.5.3	Tempo de Recorrência ou Período de Retorno.....	30
2.5.4	Tempo de Concentração	31
2.5.5	Coeficiente de escoamento Superficial (coeficiente de Runoff).....	33
2.5.6	Vazões das Bacias Hidrográficas	34
2.6	Dimensionamento Hidráulico.....	37
2.6.1	Dimensionamento do Bueiro como Canal.....	37
2.6.2	Dimensionamento do Bueiro como Orifício	46
2.7	Orçamentos de obras rodoviárias	49
2.7.1	Tabelas Referenciais de Obras de Edificações e Rodoviárias.....	50
3	MATERIAIS E MÉTODOS	51
3.1	Materiais.....	51
3.1.1	Rodovia MG-167	51
3.1.2	Local de Estudo	52
3.1.3	Caracterização do Problema	52
3.2	Métodos	55
3.2.1	Parâmetros Hidrológicos	55

3.2.1.1	Bacia de Contribuição	55
3.2.1.2	Intensidade de Precipitação	56
3.2.1.3	Tempo de Recorrência ou Período de Retorno.....	57
3.2.1.4	Tempo de Concentração	57
3.2.1.5	Coefficiente de Escoamento Superficial.....	57
3.2.1.6	Vazão da Bacia Hidrográfica.....	58
3.2.2	Levantamento da estrutura hidráulica existente	58
3.2.3	Comparação das vazões.....	59
3.2.4	Dimensionamento da nova estrutura hidráulica	60
4	RESULTADOS	64
4.1	Estudos Hidrológicos.....	64
4.1.1	Tempo de Concentração	64
4.1.2	Intensidade de Precipitação	64
4.1.3	Coefficiente de Escoamento Superficial.....	65
4.1.4	Vazão da Bacia de Contribuição	66
4.2	Estrutura hidráulica existente.....	66
5	PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DO SISTEMA	70
5.1	Dimensionamento para bueiros tubulares	70
5.2	Dimensionamento para bueiros celulares	72
5.3	Especificação dos serviços.....	75
5.4	Estimativa de custo.....	75
6	CONCLUSÃO.....	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A – VISTORIA A CAMPO.....	81
	APÊNDICE B – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA	85
	APÊNDICE C – CURVAS DE NÍVEL	87
	APÊNDICE D –REPRESENTAÇÃO DO TRECHO DA RODOVIA NA BACIA	89
	APÊNDICE E – PROJETO DE DRENAGEM	91
	APÊNDICE F - DETALHES DO DISPOSITIVO DE DRENAGEM.....	93
	ANEXO A – PROJETO DISPONIBILIZADO PELO DEER/MG	95

ANEXO B - CROQUI DO BUEIRO DE ACORDO COM O DEER/MG97

ANEXO C – RELATÓRIO DE SONDAGEM DE SOLO A PERCUSSÃO99

1 INTRODUÇÃO

Este estudo trata sobre a análise do sistema de drenagem de transposição de talvegues no quilômetro 29,1 do trecho Três Pontas/Entr^o BR-491/A (Varginha) da rodovia MG-167. Para ser realizado o estudo sobre drenagem em rodovias é essencial analisar inicialmente a definição de drenagem que, segundo Jabôr (2013), é a ciência cujo objetivo é remover e ou impedir tecnicamente o excesso das águas superficiais e profundas, a fim de proteger e melhorar tudo sobre que elas possam influir.

Para que a finalidade da construção de estradas de rodagem, que é um tráfego incessante sob as condições para o qual foi projetada, seja alcançado com efetividade é de suma importância que a drenagem seja bem planejada.

O engenheiro Oliveira (1947) afirma que muitos engenheiros não levantam o assunto da drenagem de forma rígida, devido aos elevados preços de uma drenagem eficiente. Isso faz com que eles procurem soluções intermediárias que na grande maioria das vezes levam a resultados pouco satisfatórios. Aparecendo assim, novas despesas que somadas às iniciais irão chegar ou ultrapassar o valor da drenagem se fosse feita inicialmente como deveria.

A drenagem rodoviária é dividida em: Drenagem de Transposição de Talvegues, Drenagem Superficial, Drenagem do Pavimento e Drenagem Profunda.

Segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes - DNIT (2006) a drenagem de transposição de talvegues é aquela em que a água tem origem em uma bacia e que por imperativos hidrológicos precisam ser desviadas a fim de não abalar a estrutura da via. Para isso os cursos d'água são transpassados de um lado para outro da rodovia, utilizando o meio adequado para cada necessidade.

O objetivo deste trabalho é diagnosticar o sistema de drenagem de transposição de talvegues existente e avaliá-lo quanto a seu funcionamento hidráulico, com base nos estudos desenvolvidos.

Diante do comprometimento de um bueiro de grotta localizado no trecho em estudo, levantou-se a questão sobre quais seriam as causas de ter ocorrido o problema. A principal hipótese é a deficiência do sistema para transportar toda a vazão da bacia de contribuição, acarretando em uma sobrecarga de um dos componentes do sistema.

Este trabalho inicia-se como um estudo sobre drenagem de transposição de talvegues, seus principais componentes e como dimensioná-los, podendo assim avaliar o sistema existente,

bem como dimensionar um novo, caso necessário. Por fim apresenta-se uma estimativa de custos para a implantação do novo sistema.

Este propósito será alcançado através de pesquisas bibliográficas, levantamento dos dados hidrológicos para caracterização da bacia hidrológica, visitas in loco para aquisição de dados e consultas no órgão responsável pela rodovia.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Diagnosticar, avaliar e propor uma readequação do sistema de drenagem de transposição de talwegues no quilômetro 29,1 da rodovia MG-167 - trecho Três Pontas/Entr° BR-491/A (Varginha).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados hidrológicos para caracterizar a área onde se localiza o bueiro;
- Caracterizar a Bacia de Contribuição;
- Visitas “in loco”, visando acompanhar o problema;
- Calcular as vazões;
- Calcular a capacidade do recebimento do sistema.
- Comparar a vazão da bacia de contribuição com a capacidade de recebimento do bueiro.
- Dimensionar um novo sistema de drenagem de transposição de talwegues que tenha suporte para toda a vazão da bacia hidrográfica.
- Apresentar o projeto desse novo sistema.
- Estimar o custo de implantação do novo sistema.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Drenagem

Segundo Diogo e Sciammarella (2008), drenagem é a expressão que designa as instalações destinadas a escoar o excesso de água, seja na zona urbana, rural ou nas rodovias.

Para o Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais - CREA/MG (2013) drenagem consiste no composto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas.

A drenagem possui o intuito de remover e/ou impedir o excesso das águas profundas e superficiais, a fim de resguardar e aprimorar tudo que elas possam intervir, conforme exposto por Jabôr (2013).

2.2 Sistemas de Microdrenagem

De acordo com Azevedo Netto (2000), o sistema de microdrenagem se inicia nas edificações, nos seus coletores pluviais, procede para o escoamento nas sarjetas e infiltra nos bueiros e galerias. Sendo assim, o estudo é voltado para os traçados de ruas, seus perfis transversais e longitudinais, para largura, declividade, topografia e sua utilização viária, tanto para veículos quanto para outras utilidades públicas.

Microdrenagem é o sistema de drenagem associado com as vias locais, composto pelas sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita, redes e outros sistemas para coleta e condução das águas pluviais, conforme CREA/MG (2013).

A microdrenagem é formada por elementos artificiais associados à pavimentação e tem como princípio garantir as características de tráfego e conforto dos usuários destas estruturas (SÃO PAULO, 2012).

2.3 Sistemas de Macrodrenagem

Para Martins (2012), as estruturas de macrodrenagem são responsáveis pela captação das águas da drenagem primária, dando continuação ao escoamento de deflúvios oriundos das ruas, sarjetas, valas e galerias, em que são caracterizados como componentes da microdrenagem.

De acordo com Righetto (2009), a macrodrenagem tem a função de diminuir os problemas de erosões, assoreamentos e inundações ao longo de trechos que transpassam a cidade, formada por fundo de vale, grandes galerias, canais ou riachos.

Morales (2003) salienta que a macrodrenagem, através de canais naturais ou artificiais, galerias de grandes dimensões e estruturas auxiliares fica encarregada pelo escoamento final das águas.

2.4 Drenagem de Rodovias

O DNIT (2006) afirma que a drenagem rodoviária apresenta a função de afastar a água que chega ao corpo estradal, captando-a e conduzindo-a para locais em que menos afete a segurança e durabilidade da via.

De acordo com Jabôr (2013), Sistema de Drenagem é o conjunto de dispositivos cujo a finalidade de assegurar a integridade do corpo estradal e de suas adjacências (meio ambiente), bem como a segurança dos usuários da via.

O DNIT (2006) divide a drenagem rodoviária em: Drenagem de Transposição de Talvegues (bueiros, pontes e pontilhões), Drenagem Superficial (valetas de proteção de corte e aterro, sarjetas de corte e aterro, valeta do canteiro central, descidas e saídas d'águas, caixas coletoras, bueiros de greide, dissipadores de energia, escalonamento de taludes, corta-rios, drenagem de alívio de muros de arrimo), Drenagem do Pavimento (drenos rasos longitudinais, drenos laterais de base, drenos transversais), Drenagem Profunda (drenos profundos, drenos espinhas de peixe, colchão drenante, drenos sub-horizontais, valetões laterais, drenos verticais).

2.4.1 Drenagem de Transposição de Talvegues

Na transposição de talvegues, a água tem origem em uma bacia e que por imperativos hidrológicos precisam ser desviadas a fim de não abalar a estrutura da via. Para isso, é introduzido uma ou mais linhas de bueiros sob os aterros ou construção de pontilhões ou pontes para transpassar os cursos d'água de um lado para outro da rodovia. (DNIT, 2006)

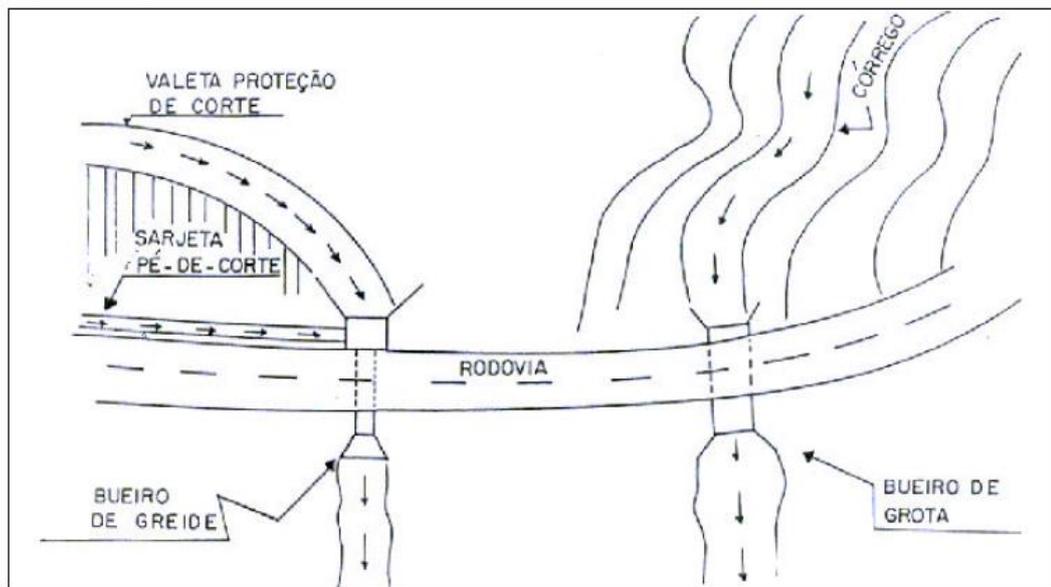
Ainda segundo a definição do DNIT (2006), talvegue, nada mais é que a linha que passa na parte mais profunda de um rio ou um vale e à construção de bueiros, pontes e pontilhões, dependendo da carência de cada local, ajuda a vencer essas possíveis dificuldades.

2.4.1.1 Bueiros

Os bueiros têm como objetivo garantir a transposição das águas de forma segura, de um lado para outro da rodovia. (JABÔR, 2013)

De acordo com a definição do DNIT (2006), os bueiros são obras que permitem a passagem das águas que ocorrem as estradas e são compostos por bocas e corpo. Sendo que o corpo é a parte situada sob os cortes e aterros e as bocas constituem os dispositivos de admissão e lançamento, a jusante e a montante, e são compostas de soleira, muro de testa e alas. São classificados em Bueiro de Greide, que geralmente encaminham as águas precipitadas e recolhidas por dispositivos de drenagem superficial e Bueiro de Grotta, que encaminham as águas de córregos e canais existentes e são localizados no fundo dos talwegues.

Figura 1 - Tipos de bueiros



Fonte: (MORALES, 2003).

O DNIT (2006) afirma que quanto à forma, os bueiros podem ser classificados como: quando possuírem seção circular, serão tubulares; quando possuírem seção quadrada ou retangular, serão celulares e quando possuírem uma geometria diferente das citadas anteriormente, serão considerados como especiais. E em relação ao número de linhas são simples, quando só houver uma única linha de tubos, de células etc. Duplos e triplos, quando houver 2 ou 3 linhas de tubos, células etc.

Figura 2 - Classificação dos bueiros quanto à forma e número de linhas

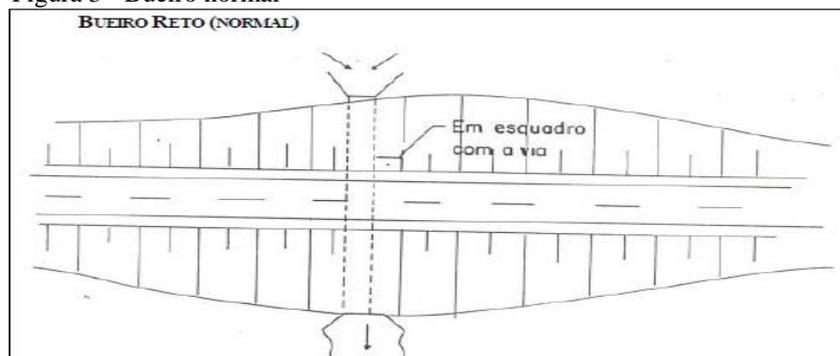
TUBULARES	BSTC – Bueiro Simples Tubular de Concreto	
	BDTC – Bueiro Duplo Tubular de Concreto	
	BTTC – Bueiro Triplo Tubular de Concreto	
CELULARES	BSCC – Bueiro Celular de Concreto	
	BDCC – Bueiro Duplo Celular de Concreto	
	BTCC – Bueiro Triplo Celular de concreto	
EM ARCO	Arco Simples	
	Arco Duplo	

Fonte: (MORALES, 2003).

Segundo a definição de Pereira (2007) os elementos constituintes de um bueiro são: corpo (estrutura que possui a função de dar passagem às águas); berço (normalmente constituído de concreto, é a base de assentamento do bueiro); bocas (são os dispositivos de entrada, montante, e saída, jusante, dos bueiros, integrando o bueiro ao corpo do aterro); recobrimento (aterro de cobertura ao bueiro, com altura mínima estabelecida em função do tipo e dimensão do bueiro); declividade (inclinação longitudinal do bueiro cuja função é forçar o escoamento ajustado das águas, evitando velocidades excessivas).

No que diz respeito à escondidade, que é definida pelo DNIT (2006) como sendo o ângulo formado entre o eixo longitudinal do bueiro e ao eixo longitudinal da rodovia, estes dispositivos são classificados como normais quando o eixo do bueiro formar um ângulo perpendicular ao eixo da rodovia, como demonstra a Figura 3.

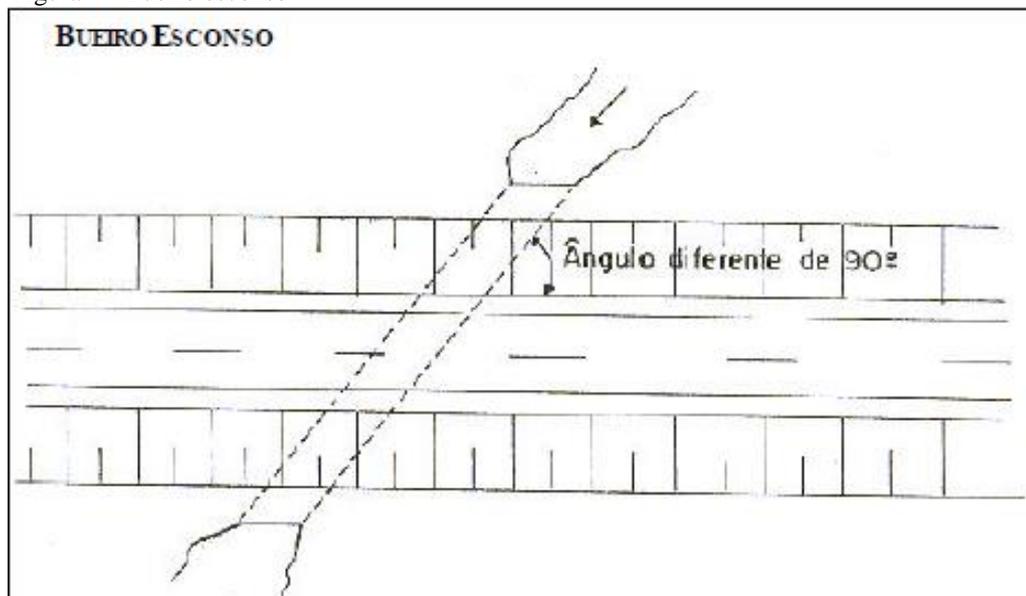
Figura 3 - Bueiro normal



Fonte: (MORALES, 2003).

Ou são classificados como esconsos no momento em que o eixo longitudinal do bueiro formar um ângulo diferente de 90° com o eixo da rodovia, como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 - Bueiro esconso



Fonte: (MORALES, 2003).

Os materiais empregados na construção de bueiros são de diversos tipos e o DNIT (2006) nos apresenta alguns desses tipos: concreto simples, concreto armado, chapa metálica corrugada ou polietileno de alta densidade - PEAD, além do PRFV – plástico reforçado de fibra de vidro. Nas bocas, alas e caixas coletoras são ainda além das citadas, alvenaria de pedra argamassada com recobrimento de argamassa de cimento e areia ou blocos de concreto de cimento, além de concreto pré-moldado.

Tomaz (2013) recomenda a utilização de somente uma linha de tubos, pois foi verificado que quando há bueiro duplo ou triplo vai acontecer que um dos bueiros passa a funcionar corretamente enquanto que o outro ou outros vai haver deposição de sedimentos e de lixo, a não ser que se deixe um bueiro em cota inferior e os outros dois em cota superior. Os bueiros múltiplos apresentam em comum o problema de assoreamento a montante dos mesmos, já que a geometria influencia muito no desempenho do bueiro. Eles necessitam de manutenção a cada dois anos e o escoamento não é uniforme em todas as linhas em paralelo e tais diferenças se devem a entrada da água nos bueiros. A boa prática é evitar se fazer bueiros múltiplos. No caso de ser necessário fazer bueiro múltiplo deve-se limitar ao máximo de dois bueiros paralelos.

De acordo com o DEER/MG quando o diâmetro do bueiro tubular é superior a 1,50m usam-se aduelas de concreto padronizadas. A largura e altura das aduelas variam de 1,00m até 4,0m sendo a junta de encaixe tipo macho-fêmea.

Segundo Tomaz (2013) os bueiros são calculados por tentativas. Primeiramente se faz um pré-dimensionamento e depois os cálculos para verificação. O dimensionamento de um bueiro duplo ou triplo é feito dividindo-se a vazão máxima por dois ou por três respectivamente.

Diogo (2008) nos afirma que o ideal é que a velocidade do fluxo d'água no dispositivo situe-se entre o valor máximo, que pretende limitar o efeito de abrasão às superfícies, e o valor mínimo, que visa garantir a autolimpeza dos dispositivos. No quadro 1 é possível analisar as velocidades máximas de acordo com o material empregado no canal.

Quadro 1 - Velocidade máxima em canais de acordo com o material empregado

Material	Velocidade máxima (m/s)
Terreno Arenoso Comum	0,76
Terreno de Aluvião	0,91
Terreno Argila Compacta	1,14
Cascalho grosso , Pedregulho, Piçarra	1,83
Alvenaria	3,00
Concreto	6,00

Fonte: Tomaz (2013)

No quadro 2 é possível analisar as velocidades mínimas de acordo com a água do canal.

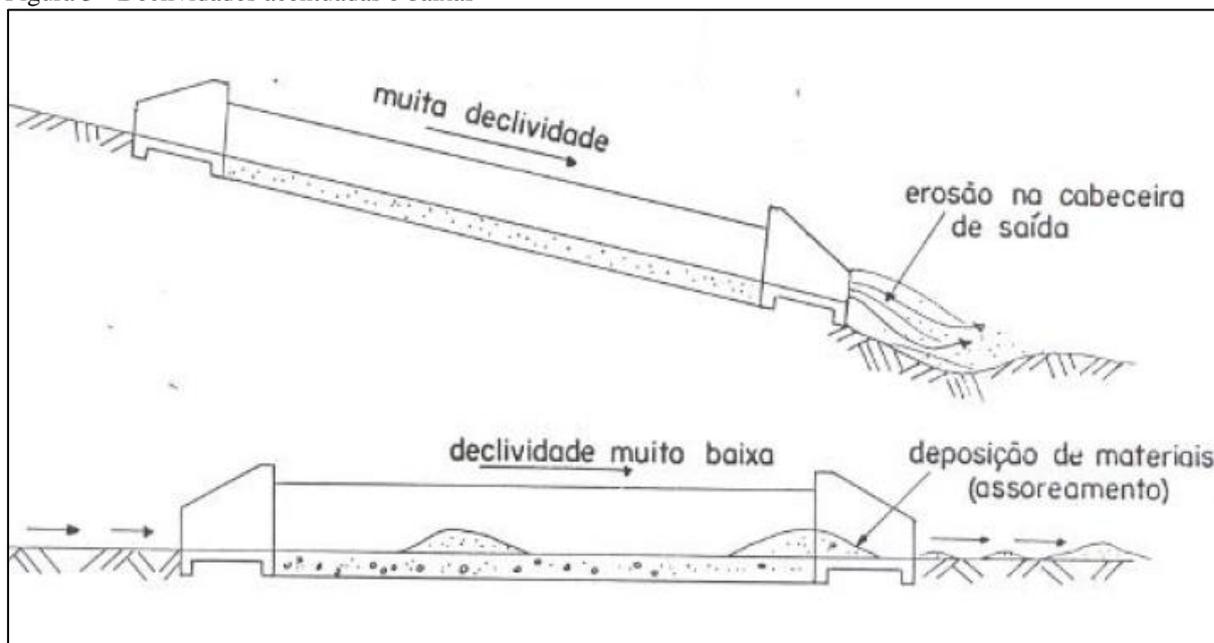
Quadro 2 - Velocidade mínima em canais de acordo com a água

Material	Velocidades (m/s)
Água com suspensão fina	0,3 m/s
Água com areia fina	0,45 m/s
Água de esgoto	0,60 m/s
Água pluvial	0,75 m/s

Fonte: Tomaz (2013)

Segundo o DNIT (2006) a declividade do corpo do bueiro deve variar de 0,4 a 5%. Se a declividade superar 5 %, projetar o bueiro em degraus e fazer o berço com dentes de fixação no terreno. Quando a velocidade do fluxo na boca de jusante for superior à recomendada para a natureza do terreno natural, prever-se bacias de amortecimento. Na figura 5 é possível analisar o que acontece quando não se respeita as declividades máximas e mínimas.

Figura 5 - Declividades acentuadas e baixas



Fonte: (MORALES, 2003).

Segundo Morales (2003) os bueiros devem ser assentados sobre uma fundação estável, ou seja, que não se deforme, ou se deforme pouco e igualmente quando submetida ao peso do aterro e veículos. A fundação ideal é aquela em que se emprega um berço de concreto assentado sobre uma camada de pedra arrumada com espessura mínima de 10 cm. Obviamente se o bueiro for assentado sobre rocha, a camada de pedra arrumada será dispensada. Quando o terreno na base for ruim, deve-se remover esse material e substituí-lo por um material estável, como pedregulho, pedra britada ou areia. A largura do berço de concreto deverá ser, no mínimo, igual ao diâmetro externo do tubo mais 20 cm. A espessura do berço será de 1/4 do diâmetro nominal do tubo, ou pelo menos 20 cm. O envolvimento lateral não poderá ser inferior a 1/3 do diâmetro externo do tubo. Sob aterros com altura superior a 20 m não será admitida a execução de bueiros tubulares.

Segundo o DNIT (2006) em qualquer tipo de bueiro tubular o recobrimento é de uma vez e meia o diâmetro externo do tubo, sendo valor mínimo usual de 60 cm. As alturas máximas de aterro para os tubos de concreto, de acordo com sua forma de assentamento, dependem da capacidade de carga do tubo usado. Nos bueiros tubulares de concreto o valor mínimo do recobrimento será de 1,5 vezes o diâmetro nominal do tubo a partir da geratriz superior do mesmo. Nos bueiros celulares o valor mínimo é o recomendado para a boa execução do aterro e das camadas do pavimento e poderão admitir como recobrimento apenas a camada de revestimento do pavimento, adotando-se nestes casos as medidas necessárias à boa aderência entre ela e a laje dos bueiros.

Para Morales (2003) a conservação de uma rodovia começa pela manutenção dos sistemas de drenagem, pois a água é causa, direta ou indireta, da maioria dos defeitos de uma estrada, estando geralmente associada com os deslizamentos, recalques, erosões, defeitos no pavimento, etc. A simples conservação adequada da drenagem, muitas vezes é suficiente para evitar enormes gastos prematuros com recapeamento, deslizamento de taludes e outras medidas corretivas ou preventivas de grande porte. Por estes motivos pode-se afirmar que a conservação do sistema de drenagem é a parte mais importante da conservação rodoviária. Essa conservação consiste, principalmente, na desobstrução e no controle da erosão.

2.4.1.2 Pontes

De acordo com a definição do DNIT (2006), pontes são obras-de-arte destinadas a vencer os talwegues formados pelos cursos d'água, cuja transposição não pode ser feita por bueiros e pontilhões. Por sua maior importância e pelas suas extensões que estas obras exigem estruturas mais complexas do que as usadas nos pontilhões e, para esta razão no seu dimensionamento os procedimentos de cálculo deverão ser mais rigorosos. Como é demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Ponte sobre o Rio Verde, rodovia BR-491, Varginha/MG.



Fonte: o autor.

2.4.1.3 Pontilhões

Segundo a definição do DNIT (2006), pontilhões são obras indicadas para locais onde bueiros não possam ser implantados, seja por imposição de projeto ou do greide. Um pontilhão é similar à uma ponte, a grande diferença é que os pontilhões apresentam vãos de no máximo dez metros, como pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Pontilhão localizado na rodovia que liga Baependi à comunidade de Congonhal



Fonte: o autor.

2.5 Estudos Hidrológicos

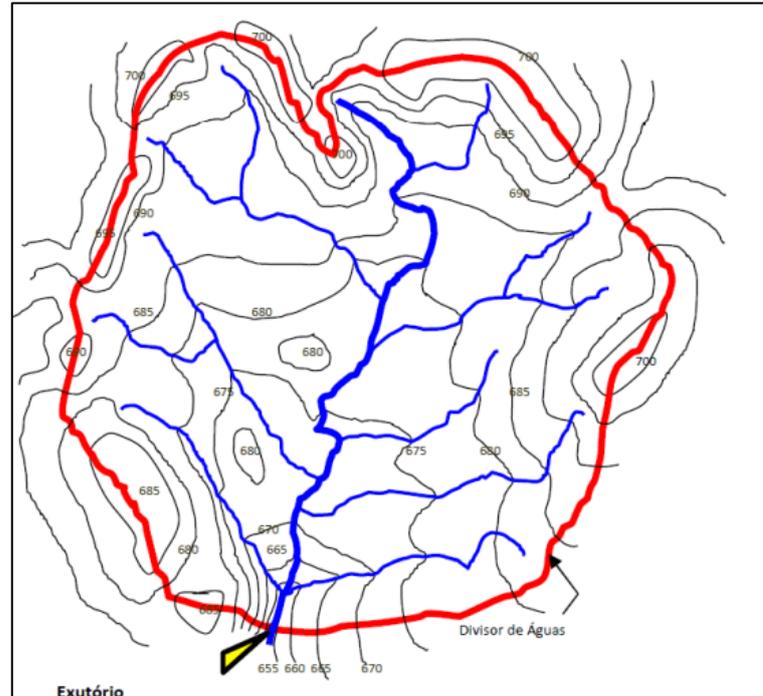
Segundo Jabôr (2013) os estudos hidrológicos têm por finalidade a aquisição de elementos e o estabelecimento de critérios para a determinação das vazões para o cálculo das obras de drenagem novas e também para verificar a suficiência das obras de drenagem existentes.

2.5.1 Bacias de Contribuição

De acordo com Garcez (1976) um conjunto de áreas que possuem a declividade no sentido da determinada seção transversal de um curso de água e que são medidas horizontalmente, formam as bacias hidrográficas.

Ainda segundo a definição de Garcez (1976), bacia de drenagem é caracterizada como sendo uma área definida e fechada topograficamente em um ponto de curso de água, no qual toda a vazão será medida e descarregada por meio desse ponto, conforme Figura 8.

Figura 8 - Delimitação de uma bacia



Fonte: (SPERLING, 2007).

Uma bacia de contribuição é a área receptora de precipitações que abastecem parte ou todo o escoamento do curso da água e de seus afluentes. Seus limites são definidos pelos seus divisores de águas ou espigões que a separam das bacias adjacentes. Apresentam um único despejo, um ponto no qual o curso de água corta o eixo da rodovia. É objeto de estudos hidrológicos, compreendendo a sua fisiologia, geomorfologia, geologia e hidrometria. (WILKEN, 1978)

2.5.2 Intensidade de Precipitação

De acordo com a definição de Botelho (2011), a intensidade de chuva é quanto de água que cai em uma área durante certo período de tempo. Conseqüentemente é necessário que se determine o tempo de retorno para estabelecer a intensidade de chuva.

Carvalho (2006) ressalta que para a elaboração de obras hidráulicas é necessário conhecer as grandezas que caracterizam as precipitações máximas como por exemplo: intensidade, duração e frequência.

De acordo com Fernandes (2012), para cada localidade existe uma equação de intensidade de chuva específica.

A Universidade Federal de Viçosa (UFV) desenvolveu o software Plúvio 2.1 (GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS, 2006) onde é possível estimar parâmetros relativos à localidade, através da Equação (1), utilizado quando não tivermos a equação de intensidade de chuva específica para determinada cidade.

$$Im = \frac{K \times Tr^a}{(tc+b)^c} \quad (1)$$

Sendo:

Im: intensidade média, (mm/h)

Tr: período de retorno, (anos)

Tc: tempo de concentração, (min)

K, *a*, *b* e *c*: Parâmetros relativos à localidade retirada do software Pluvio desenvolvido pela Faculdade Federal de Viçosa Minas Gerais.

2.5.3 Tempo de Recorrência ou Período de Retorno

Tempo de recorrência é o intervalo médio de anos em que certo evento pode ocorrer ou ser superado. O que justifica a escolha de um determinado período de retorno para uma obra é a análise de economia e segurança da obra. Em obras de canalização de cursos d'água de pequenas bacias de drenagem para controle de inundação, o período de retorno adotado será menor, visto que os problemas são minimizados. (JABÔR, 2013).

Para Wilkwen (1978), é quase sempre impossível fazer uma comparação realista entre os custos das obras e os prejuízos previsíveis, de modo a se obter a solução mais conveniente. Os danos causados por uma inundação são grandes, podendo ocasionar perdas de vidas humanas, prejuízos materiais e perda de prestígio de administradores municipais. Nessas condições, o período de retorno terá que ser escolhido baseado em obras existentes, em sua própria experiência e, sobretudo, no bom senso. De acordo com Jabôr (2013) cada órgão rodoviário recomenda um tempo de recorrência, conforme Quadro 3.

Quadro 3 - Valores recomendados para tempo de recorrência

	DNIT	DER / MG
Drenagem Superficial	5 a 10 anos	10 anos
Drenagem Profunda	1 ano	1 ano
Bueiros Tubulares - canal	10 a 25 anos	-
Bueiros Tubulares - orifício	25 anos	15 anos
Bueiros Celulares – canal	25 anos	-
Bueiros Celulares – orifício	50 anos	25 anos
Ponte	100 anos	50 anos

Fonte: (Adaptado de JABÔR, 2013).

Segundo Morales (2003) para cada estrutura hidráulica é definido um valor para o tempo de recorrência e serão descritos no Quadro 4.

Quadro 4 - Valores recomendados para Tempo de Recorrência

Estrutura Hidráulica	Caracterização	T (anos)
Bueiros rodoviários	Tráfego baixo	5-10
	Tráfego intermediário	10-25
	Tráfego alto	50-100
Pontes rodoviárias	Vias secundárias	10-50
	Vias principais	50-100
Drenagem Urbana	Galerias em pequenas cidades	2-25
	Galerias em grandes cidades	25-50
	Canalização de córregos	50-100
Diques	Área rural	2-50
	Área urbana	50-200
Pequenas barragens	Com risco a vida humana	50-100
	Sem risco a vida humana	100-1000
Grandes barragens		10000

Fonte: (MORALES, 2003).

2.5.4 Tempo de Concentração

Segundo a definição de Jabôr (2013), tempo de concentração é o intervalo de tempo

entre o início da precipitação e o instante em que toda a bacia contribui para a vazão na seção estudada.

Para Wilkwen (1978), o tempo de concentração é caracterizado como sendo o tempo gasto em minutos para que uma gota d'água teórica leva para ir do ponto mais afastado da bacia até o ponto de concentração.

Segundo Tomaz (2012), existem várias fórmulas indicadas para a determinação dos tempos de concentração das bacias hidrográficas, algumas delas são:

Fórmula de Kirpich (utilizada para bacias até 50ha):

$$tc = \left[\frac{0,019.L^{0,77}}{S^{0,385}} \right] \quad (2)$$

Onde:

tc : tempo de concentração da bacia, em min.;

L : comprimento do talvegue principal, em m;

S : declividade do talvegue, em m/m.

Fórmula California Culverts Practice (utilizada em bacias rurais para áreas maiores que 1km²):

$$tc = \left[\frac{57.L^{1,55}}{H^{0,385}} \right] \quad (3)$$

Onde:

tc : tempo de concentração da bacia, em min.;

L : comprimento do talvegue principal, em km;

H : diferença de cotas entre a saída da bacia e ponto mais alto do talvegue, em m.

Fórmula de George Ribeiro (utilizada para qualquer bacia):

$$tc = \left[\frac{16L}{L(1,05-0,2\rho).(100D)^{0,04}} \right] + 10 \quad (4)$$

Onde:

tc : tempo de concentração da bacia, em min.;

L : comprimento do talvegue principal, em km;

ρ : fração da área da bacia coberta com vegetação, adimensional;

D : declividade média do talvegue principal, em m/m.

Fórmula de Kerby (utilizada em bacias muito pequenas, menor que 04 ha e comprimento de talvegue menor que 365 m):

$$tc = \left[1,44 \cdot \left(\frac{r \cdot L^{1,55}}{S^{0,5}} \right)^{0,467} \right] \quad (5)$$

Onde:

tc : tempo de concentração da bacia, em min.;

r : coeficiente de rugosidade de retardação, adimensional; L

L : comprimento do ponto mais distante, em m;

S : declividade do talvegue, em m/m.

2.5.5 Coeficiente de Escoamento Superficial (coeficiente de Runoff)

O coeficiente de deflúvio ou coeficiente de escoamento superficial ou ainda coeficiente de “run-off” é descrito por Jabôr (2013) como a relação entre o volume de água escoado superficialmente e o volume precipitado.

A definição que Tucci (1995) dá para o coeficiente de escoamento superficial é resultado das seguintes características: tipo de solo e cobertura, tipo de ocupação, tempo de retorno e intensidade de chuva.

De acordo com a definição de Gribbin (2015) o coeficiente de deflúvio leva em consideração a infiltração no solo e a evapotranspiração e sofre variações conforme as características da bacia de contribuição.

Quadro 5 - Coeficientes de Run-off

Superfície (ocupação do solo)		C
Revestimento	Betuminoso	0,80 – 0,95
	Concreto de cimento portland	0,70 – 0,90
	Primário	0,40 – 0,60
Taludes gramados		0,50 – 0,70

Solos sem revestimento	Baixa permeabilidade	0,40 – 0,65
	Permeabilidade moderada	0,10 – 0,30
Prados e Campinas		0,10 – 0,40
Terrenos Cultivados	Zonas altas	0,15 – 0,40
	Vales	0,10 – 0,30
Áreas Florestais		0,10 – 0,25

Fonte: (DNIT, 2006).

Segundo Tomaz (2012) quando a bacia apresenta ocupação muito variável se torna necessário o cálculo de um coeficiente de escoamento médio, com base no percentual de superfícies diferentes presentes na bacia em estudo. Esse cálculo é feito usando a média ponderada, conforme a Equação (6).

$$C_{médio} = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (6)$$

Onde:

$C_{médio}$: coeficiente de escoamento superficial médio;

C_1, C_2, C_n : coeficientes de escoamento superficial das áreas A_1, A_2, A_n ;

A_1, A_2, A_n : áreas que possuem os coeficientes C_1, C_2, C_n .

2.5.6 Vazões das Bacias Hidrográficas

Para se desenvolver corretamente os estudos hidrológicos nos projetos rodoviários é de suma importância à escolha da metodologia utilizada para cálculo das vazões máximas prováveis, visto que uma metodologia inadequada poderá comprometer o dimensionamento das obras. (JABÔR, 2013)

De acordo com o DNIT (2006) os métodos recomendados para descarga de bacia são: método racional (para áreas menores que 4 km²); método racional com coeficiente de retardo (para áreas entre 4 km² e 10 km²); hidrograma unitário triangular (para áreas superiores a 10 km² - Hidrograma Unitário Triangular).

2.5.6.1 Método Racional

$$Q = 0,0028.C.I.A \quad (7)$$

Onde:

Q : Vazão (m³/s)

A : Área drenada (ha)

I : Intensidade de chuva (mm/h)

C : Coeficiente de Deflúvio segundo Baptista Gariglio e José Paulo Ferrari

2.5.6.2 Método Racional com coeficiente de retardo

$$Q = 0,28 \cdot C \cdot I \cdot A \cdot \emptyset \quad (8)$$

Onde:

Q : Vazão (m³/s)

A : Área drenada (km²)

I : Intensidade de chuva (mm/h)

C : Coeficiente de Deflúvio segundo Burkli-Ziegler

\emptyset : Coeficiente de Retardo

O coeficiente de retardo é calculado através da Equação (9):

$$\emptyset = \frac{1}{(100 \cdot A)^{\frac{1}{n}}} \quad (9)$$

Onde:

\emptyset : Coeficiente de retardo

A : Área (km²)

$n = 4$, para pequenas declividades (inferiores a 0,5%);

$n = 5$, para médias declividades (entre 0,5 e 1%);

$n = 6$, para fortes declividades (superiores a 1%).

2.5.6.3 Hidrograma Unitário Triangular

$$Qp = \frac{A}{0,03 \cdot tb} \quad (10)$$

Onde:

Qp : Descarga máxima (m³/s/mm)

A : Área (km²)

tb : Tempo de base do hidrograma (min)

$$DU = \frac{1}{7,5} \cdot tc \quad (11)$$

Onde:

DU : Duração unitária da chuva (min)

tc : Tempo de concentração (min)

$$LAG = 0,6 \cdot tc \quad (12)$$

Onde:

LAG : Tempo entre metade da chuva e o instante de pico (min)

tc : Tempo de concentração (min)

$$tp = \frac{DU}{2} + LAG \quad (13)$$

Onde:

tp : tempo de pico (min)

DU : Duração unitária da chuva (min)

LAG : Tempo entre metade da chuva e o instante de pico (min)

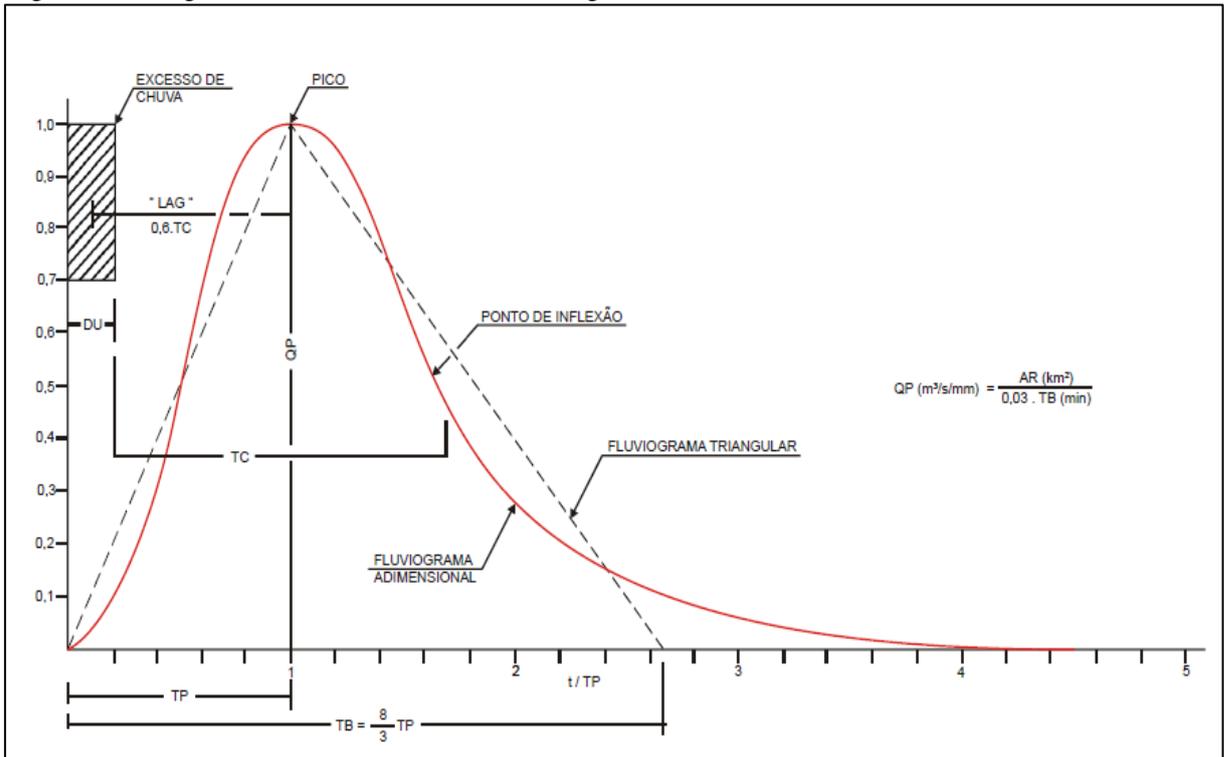
$$tb = \frac{8}{3} \cdot tp \quad (14)$$

Onde:

tb : Tempo de base do hidrograma (min)

tp : tempo de pico (min)

Figura 9 - Hidrograma Unitário Adimensional e Triangular



Fonte: (DNIT, 2005).

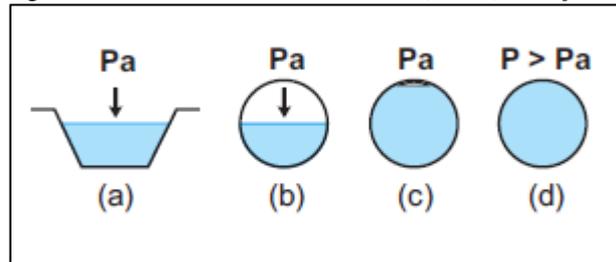
2.6 Dimensionamento Hidráulico

Segundo o DNIT (2006) para o cálculo dos bueiros pode-se reconhecer que eles possam funcionar como canais, vertedores ou como orifícios: canal (quando as extremidades de montante e jusante não se encontram submersas); orifício (quando a vazão afluyente supera a capacidade do bueiro ocorrendo à elevação do nível somente a montante); vertedores (dimensionar pela fórmula de Francis, considerando a altura d'água sobre a borda superior nula).

2.6.1 Dimensionamento do Bueiro como Canal

De acordo com Diogo (2008), canal ou conduto livre é uma seção aberta ou fechada, sujeita à pressão atmosférica em pelo menos um ponto da sua seção de escoamento. Na Figura 10, é possível conhecer alguns tipos de canais.

Figura 10 - Canal ou conduto livre em (a, b, c) e forçado em (d)



Fonte: (Diogo, 2008)

Diogo (2008), ainda nos afirma que nos cálculos de drenagem, considera-se que o escoamento é permanente, isto é, numa dada seção a vazão permanece constante. A seção molhada, o perímetro molhado e o raio hidráulico de um conduto são elementos importantes de um canal.

Área ou seção molhada (A): área útil de escoamento numa seção transversal de um conduto.

Perímetro molhado (P): linha que limita a seção molhada junto às paredes e fundo do conduto.

Raio hidráulico (R): resultado da divisão da seção molhada pelo perímetro molhado.

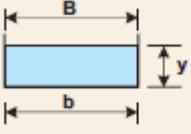
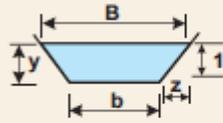
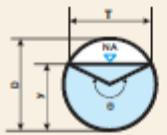
Regime de escoamento

De acordo com o DNIT (2006) no dimensionamento do bueiro como canal terá que ser considerado que o escoamento será capaz de ser analisado no fluxo supercrítico, crítico e subcrítico. O fluxo crítico deverá ser utilizado em todo caso que as condições admitirem.

O DNIT (2006) nos afirma que o fluxo crítico é aquele que se certifica quando a declividade crítica for menor ou igual a declividade da obra, o dimensionamento se fará de acordo com as expressões do regime crítico; se a declividade da obra é menor que a crítica, as expressões para o dimensionamento são as do fluxo subcrítico baseado na declividade disponível. A partir da declividade crítica, mesmo aumentando a declividade da obra, a capacidade de admissão de água na entrada do bueiro permanece constante.

Na figura 11, são mostradas seções transversais típicas em canais.

Figura 11 - Seções transversais e profundidade crítica nos canais

Seção Tipo	Seção molhada	Perímetro molhado	Profundidade crítica
	$b \cdot y$	$B + 2 \cdot y$	$0,467 \sqrt[3]{\left(\frac{Q}{b}\right)^2}$
	$(b + z \cdot y) \cdot y$	$b + 2 \cdot y \sqrt{1 + z^2}$	$\frac{4zE - 3B + \sqrt{16z^2 E^2 + 16zEB + 9B^2}}{10z}$ $E = y + \frac{v^2}{2g}$
	$z \cdot y^2$	$2 \cdot y(1 + z^2)^{0,5}$	$0,728 \sqrt[5]{\left(\frac{Q}{z}\right)^2}$
	$\frac{D^2(\theta - \text{sen}\theta)}{8}$	$D \cdot \theta / 2$	$D \cdot (\theta - \text{sen}\theta) / [8 \cdot \text{sen}(\theta/2)]$ $y/D = 0,5 \cdot [1 - \cos(\theta/2)]$

Fonte: (Diogo, 2008)

Diogo (2008), ainda nos afirma que o regime de escoamento é caracterizado pelo número de Froude.

Número de Froude

$$F = \frac{v}{(g \cdot y)^{0,5}} \quad (15)$$

Onde:

F : número de Froude (adimensional);

v : velocidade (m/s);

g : aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

y : profundidade do fluxo (m).

Regime de Escoamento

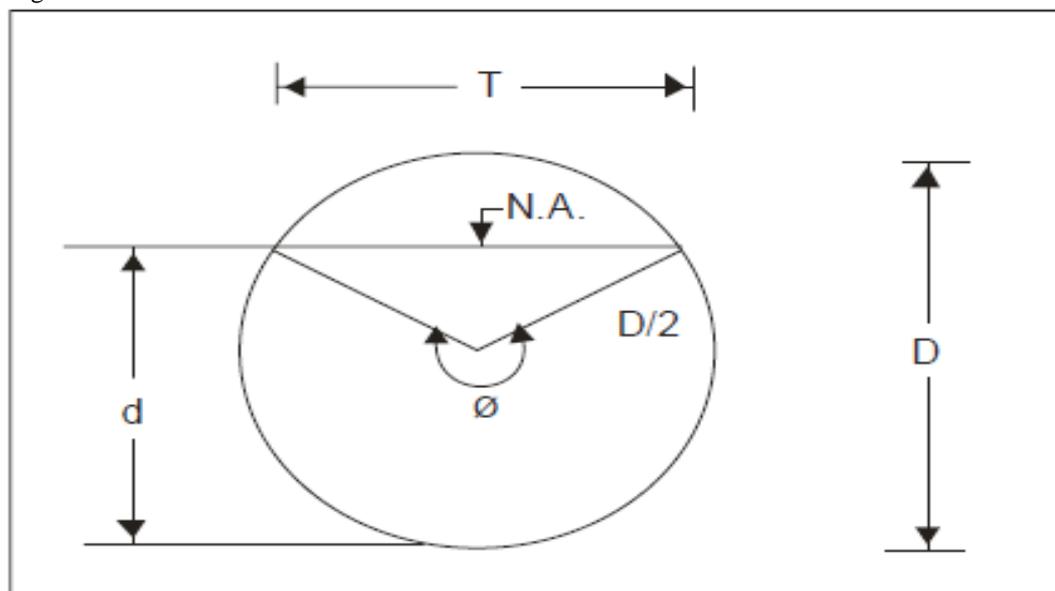
Fluvial – $F < 1$

Crítico – $F = 1$

Torrencial – $F > 1$

Grandezas Hidráulicas dos Bueiros Tubulares

Figura 12 - Grandezas Hidráulicas dos bueiros tubulares



Fonte: (DNIT, 2006).

Área molhada:

$$A = \frac{\vartheta - \text{sen}\vartheta}{8} \cdot D^2 \quad (16)$$

Onde:

A : Área molhada (m^2)

ϑ : Ângulo ϑ (rad) – como demonstra a Figura 12

D : Diâmetro (m)

Perímetro molhado:

$$P = \frac{\vartheta}{2} \cdot D \quad (17)$$

Onde:

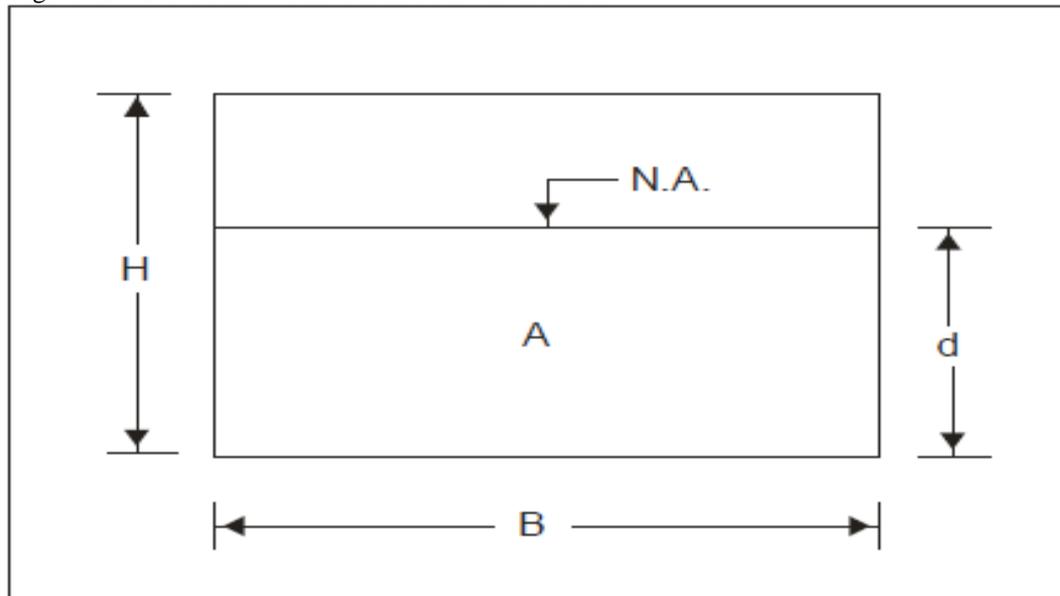
P : Perímetro molhado (m)

\varnothing : Ângulo \varnothing (rad) – como demonstra a Figura 12

D : Diâmetro da seção transversal (m)

Grandezas Hidráulicas dos Bueiros Celulares

Figura 13 - Grandezas Hidráulicas dos bueiros celulares



Fonte: (DNIT, 2006).

Área molhada:

$$A = B \cdot d \quad (18)$$

Onde:

A : Área molhada (m^2)

B : Base do bueiro (m)

d : Altura da lâmina d'água (m)

Perímetro molhado:

$$P = B + 2d \quad (19)$$

Onde:

P : Perímetro molhado (m)

B : Base do bueiro (m)

d : Altura da lâmina d'água (m)

Dimensionamento no regime crítico

Conforme o DNIT (2006), sempre que a declividade do canal for igual à crítica, o dimensionamento terá de ser realizado pela fórmula de Manning associada à Equação da Continuidade.

Fórmula de Manning

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \quad (20)$$

Sendo:

V : velocidade de escoamento (m/s);

R : raio hidráulico (m);

I : declividade do bueiro (m/m);

n : coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional).

O raio hidráulico é obtido pela expressão:

$$R = \frac{A}{P} \quad (21)$$

Sendo:

R : raio hidráulico (m);

A : área da seção molhada (m²);

P : perímetro molhado (m).

Equação da Continuidade

$$Q = A.V \quad (22)$$

Sendo:

Q : vazão do bueiro (m³/s);

A : área da seção molhada (m²);

V : velocidade de escoamento (m/s).

Associando as duas equações, temos:

$$Q = \frac{R^{2/3} . I^{1/2}}{n} . A \quad (23)$$

O Quadro 6 de coeficientes de rugosidade de Manning usados para os cálculos do canal, segundo DNIT (2006).

Quadro 6 - Coeficientes de Rugosidade de Manning - n

Ferro Fundido	0,011 a 0,15
Aço Soldado	0,009 a 0,011
Aço Corrugado	0,019 a 0,032
Concreto Liso	0,011 a 0,013
Cerâmica	0,012 a 0,014
Alvenaria de Pedra	0,017 a 0,025

Fonte: (Adaptado de DNIT, 2006).

Tomaz (2012) diz que a ausência de uma norma brasileira sobre drenagem é fator complicador para a realização de projetos.

Azevedo Netto (2000) completa que existe uma indefinição sobre qual relação y/d deve ser considerada para o dimensionamento de galerias pluviais, pois diversos autores indicam valores diferentes. Sendo assim, todos os valores indicados são apenas sugeridos com base na literatura técnica específica, visto a ausência de recomendações específicas.

Costa e Menezes (2012) citam que devem ser observados alguns critérios no dimensionamento dos condutos, que podem ser vistos no Quadro 7. A velocidade do escoamento deve ser controlada, sendo suficientemente alta para se prevenir a sedimentação, e ao mesmo tempo devendo ser limitada para evitar o desgaste da tubulação. Além disso deve ser

admitido um recobrimento mínimo para evitar esforços excessivos e garantir a integridade física das tubulações, geralmente posicionadas sob as vias ou passeios públicos.

Quadro 7 - Parâmetros para canais e/ou seção circular das galerias de águas pluviais

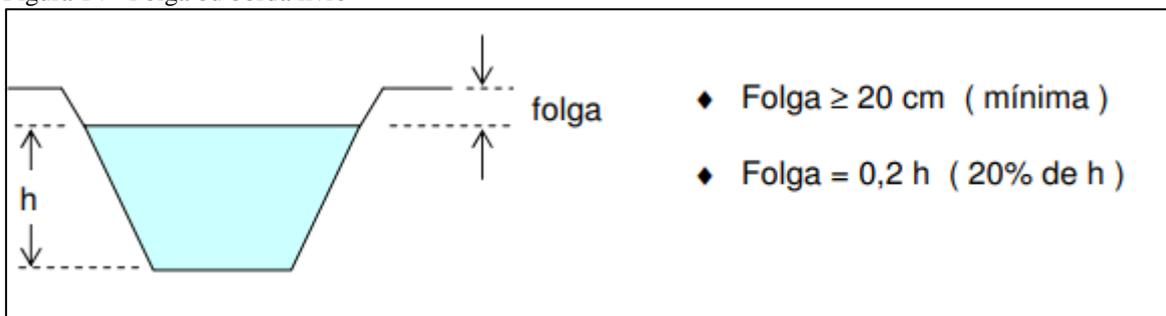
Autor/Instituição	V mín (m/s)	V máx (m/s)	Tci (min)	Rm (m)	Seção Plena ou h/D	Tipo de escoamento
Tucci et al. (2004)	0,60	5,00	10 (a)	1,00	Plena	Unif.
Azevedo Netto e Araújo (1998)	0,75	5,00	5	1,00	Plena ou 0,90	Unif.
Wilken (1978)	0,75	3,50 (e)	5 a 15	-	Plena	Unif.
Alcântara apud Azevedo Netto (1969)	1,00	4,00	7 a 15	-	0,70	Grad.Variado
Porto (1999)	V méd = 4 a 6 (b)		-	-	0,75	Unif.
Cirilo (2003)	0,60	4,50	-	-	h / D (c)	Unif.
Methdos e Durrans (2003)	0,60 a 0,90	4,50	-	0,9	0,85	Unif. E Grad. Variado
DAEE-CETESB (1980)	-	-	-	-	0,82	Unif.
Prefeitura Municipal de Goiânia	0,75	5,00	-	-	0,85 a 0,90	Unif.

Fonte: (COSTA e MENEZES, 2012).

Borda Livre

Segundo o DNIT (2006) é necessário considerar uma borda livre no dimensionamento de bueiros celulares ou trapezoidais e poderá ser adotado conforme figura 14:

Figura 14 - Folga ou borda livre



Fonte: Morales (2003)

Declividade crítica

Bueiros Celulares

$$I_c = \frac{2,60 \cdot n^2}{H^{\frac{1}{3}}} \cdot \left(3 + \frac{4H}{B}\right)^{\frac{4}{3}} \quad (24)$$

Onde:

I_c = Declividade crítica (m/m)

B = Base da seção (m)

H = Altura da seção (m)

n = coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)

Bueiros Tubulares

$$I_c = 32,82 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad (25)$$

Onde:

I_c = Declividade crítica (m/m)

D = Diâmetro (m)

n = coeficiente de rugosidade de Mannig (adimensional)

Dimensionamento no regime subcrítico

Bueiros Tubulares

$$V = \left[\frac{\phi - \text{sen}\phi}{4 \cdot \phi} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot D^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (26)$$

$$Q = \frac{1}{16} \left[\frac{(\phi - \text{sen}\phi)^5}{(2 \cdot \phi)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot D^{\frac{3}{8}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (27)$$

Onde:

V= Velocidade de escoamento (m/s)

Q= Vazão admissível na valeta (m³/s)

D = Diâmetro do Tubo (m)

I = Declividade da obra (m/m)

n = coeficiente de rugosidade das paredes do bueiro (adimensional)

∞ = ângulo central (radianos);

Bueiros Celulares

$$V = \left[\frac{(B \cdot d)^2}{(B+2d)^3} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (28)$$

$$Q = \left[\frac{(B \cdot d)^5}{(B+2d)^3} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{I^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (29)$$

Onde:

V= Velocidade de escoamento (m/s)

Q= Vazão admissível na valeta (m³/s)

B = Largura do bueiro (m)

D = altura da lâmina d'água (m)

I = Declividade da obra (m/m)

n = coeficiente de rugosidade das paredes do bueiro (adimensional)

2.6.2 Dimensionamento do Bueiro como Orifício

O DNIT (2006) diz que para um bueiro trabalhar como orifício, como demonstrado na Figura 15, ele tem que atender a seguinte condição:

$$H_w \geq 1,2 \cdot D \text{ ou } H_w \geq 1,2 \cdot H \quad (30)$$

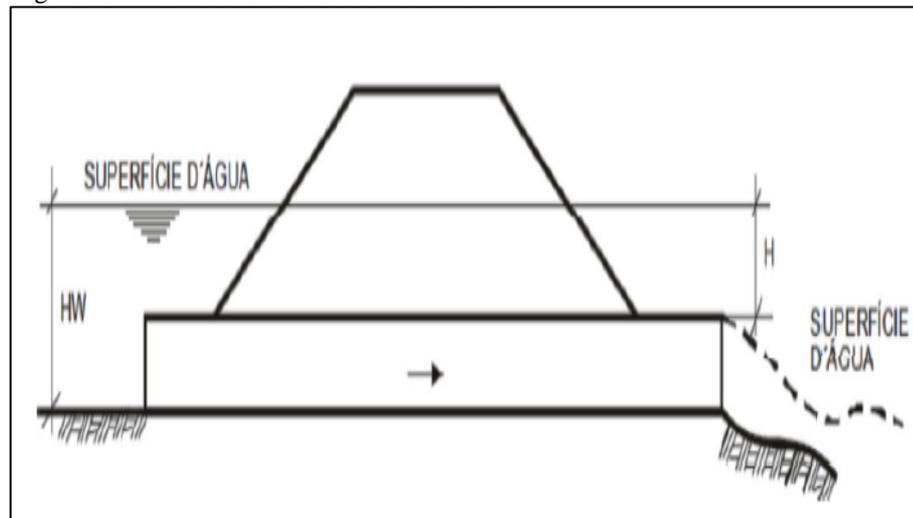
Onde:

H_w = Altura da superfície da água (m)

D = Diâmetro do bueiro (m)

H = Altura do bueiro (m)

Figura 15 - Bueiro trabalhando como orifício



Fonte: (DNIT, 2006).

Para o DNIT (2006) nos bueiros que trabalham como orifício, a vazão admissível não depende da rugosidade das paredes dos bueiros nem da sua declividade, já que essa vazão é função da seção da obra, da forma de entrada, da descarga hidráulica e da aceleração da gravidade.

Bueiros Tubulares:

$$Q = 2,192 \cdot D^2 \cdot h^{\frac{1}{2}} \quad (31)$$

$$V = 2,79 \cdot h^{\frac{1}{2}} \quad (32)$$

Onde:

Q = Vazão (m^3/s)

V = Velocidade (m/s)

D = Diâmetro do bueiro (m)

h = carga hidráulica a montante (m)

O DNIT (2006) recomenda para os bueiros tubulares os coeficientes de vazão, mostrados no Quadro 9, segundo Manning.

Quadro 8 - Coeficientes de Vazão para bueiros tubulares segundo Manning

$\frac{L}{D}$	10	25	50	75	100
C	0,770	0,674	0,643	0,588	0,548

Fonte: (DNIT, 2006).

Sendo:

L = comprimento do bueiro (m)

D = diâmetro do bueiro (m)

c = coeficiente de vazão (adimensional)

Quadro 9 - Parâmetros para bueiros tubulares trabalhando como orifício

TIPO	DIÂMETRO (m)	h = 1,2 D		h = 1,5 D		h = 2D	
		Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	V (m/s)
BSTC OU BSTM	0,60	0,67	2,37	0,75	2,65	0,86	3,06
	0,80	1,37	2,73	1,54	3,06	1,77	3,53
	1,00	2,40	3,06	2,68	3,42	3,10	3,95
	1,10	3,05	3,21	3,41	3,58	3,93	4,14
	1,20	3,79	3,35	4,23	3,74	4,89	4,32
	1,30	4,63	3,48	5,17	3,90	5,97	4,50
	1,40	5,57	3,62	6,23	4,04	7,19	4,67
	1,50	6,62	3,74	7,40	4,19	8,54	4,83
	1,60	7,78	3,87	8,69	4,32	10,04	4,99
	1,70	9,05	3,98	10,12	4,46	11,68	5,14
	1,80	10,44	4,10	11,67	4,58	13,48	5,29
	1,90	11,95	4,21	13,36	4,71	15,43	5,44
2,00	13,58	4,32	15,19	4,83	17,54	5,58	

Fonte: (DNIT, 2006).

Quadro 10 - Vazão e velocidade dos bueiros celulares para cargas hidráulicas

TIPO	SEÇÃO B X H m x m	h = H	
		Q (m ³ /s)	V (m/s)
BSCC	1,0 x 1,0	2,79	2,79
BSCC	1,5 x 1,5	7,69	3,42
BSCC	2,0 x 1,5	10,25	3,42
BSCC	2,0 x 2,0	15,79	3,95
BSCC	2,0 x 2,5	22,06	4,41
BSCC	2,0 x 3,0	29,00	4,83*
BSCC	2,5 x 2,5	27,58	4,41
BSCC	3,0 x 1,5	15,38	3,42
BSCC	3,0 x 2,0	23,68	3,95
BSCC	3,0 x 2,5	33,10	4,41
BSCC	3,0 x 3,0	43,51	4,83*
BDCC	2,0 x 1,5	20,51	3,42
BDCC	2,0 x 2,0	31,58	3,95
BDCC	2,0 x 2,5	44,13	4,41
BDCC	2,0 x 3,0	58,01	4,83*
BDCC	2,5 x 2,5	55,16	4,41
BDCC	3,0 x 1,5	30,76	3,42
BDCC	3,0 x 2,0	47,36	3,95
BDCC	3,0 x 2,5	66,19	4,41
BDCC	3,0 x 3,0	87,01	4,83*
BTCC	2,0 x 2,0	47,36	3,95
BTCC	2,0 x 2,5	66,19	4,41
BTCC	2,5 x 2,5	82,74	4,41
BTCC	3,0 x 2,0	71,05	3,95
BTCC	3,0 x 2,5	99,29	4,41
BTCC	3,0 x 3,0	130,52	4,83*

Fonte: (DNIT, 2006).

2.7 Orçamentos de obras rodoviárias

De acordo com Pereira (2010) a execução de uma obra rodoviária de engenharia pode ser entendida como o somatório de diversas etapas de serviços, utilizando-se equipamentos e materiais específicos, trabalhados de forma racional através de certa quantidade de mão-de-obra. Se conseguirmos subdividir e quantificar cada tarefa ou etapa, considerando a avaliação dos custos dos materiais, equipamentos, mão-de-obra e encargos sociais, estaremos aptos a avaliar o custo de cada serviço, individualmente. Sobre os custos diretos calculados, deve-se adicionar uma bonificação de despesas indiretas - BDI, que corresponde aos custos administrativos, custos financeiros, impostos, e a própria margem de lucro que cada empresa deva perceber pela execução de determinado serviço. Portanto, a base do orçamento de uma obra reside no conhecimento minucioso do custo de cada uma de suas etapas ou serviços, individualmente. Para tal, deve-se conhecer a composição dos custos unitários de cada serviço.

2.7.1 Tabelas Referenciais de Obras de Edificações e Rodoviárias

Elaborada pela Assessoria de Custos do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DEER/MG), as tabelas referenciais de obras de edificações e rodoviárias, são desenvolvidas trimestralmente, sendo a mais atual de julho de 2017, visam garantir melhores condições de execução e melhor resultado econômico das obras.

A consulta às Tabelas Referenciais, que está disponibilizada no site do DEER/MG pode ser feita tanto por prefeituras e órgãos públicos quanto por setores da iniciativa privada. Os preços unitários desta lista não incluem B.D.I. e foi elaborada com preços médios de insumos coletados no mercado de preços para pagamento a vista.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

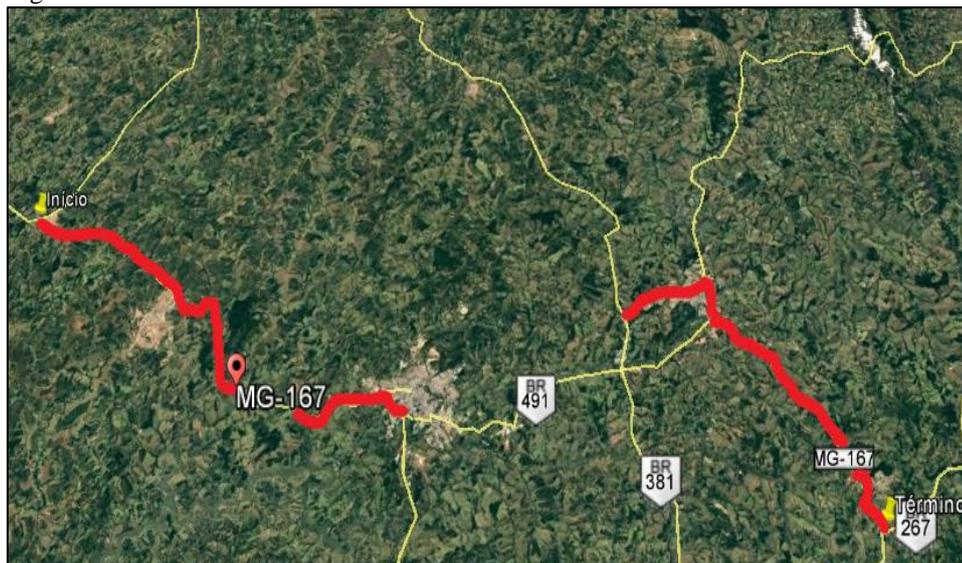
Para a realização da metodologia foram obtidas informações no Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DEER/MG e na bibliografia utilizada, foram feitas visitas in loco e foram utilizados os softwares Plúvio 2.1 (GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS, 2006) para identificação da intensidade de chuva, Google Earth (GOOGLE, 2017) e Global Mapper (BLUE MARBLE GEOGRAPHICS, 2017) para determinação do levantamento planialtimétrico e AutoCad 2016 (AUTODESK, 2016) para cálculo da área da bacia e projeto do novo sistema de drenagem.

3.1 Materiais

3.1.1 Rodovia MG-167

De acordo com o Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais – DEER/MG, a MG-167 é uma rodovia estadual localizada no sul de Minas Gerais, com 96,6 quilômetros de extensão e possui seu marco inicial no entroncamento com a BR-265, no perímetro urbano da cidade de Santana da Vargem, passa pelas cidades de Três Pontas, Varginha, Três Corações e possui seu marco final no entroncamento com a rodovia BR-267, na cidade de Cambuquira. Em alguns trechos é coincidente com as rodovias federais BR-491 e BR-381 como é demonstrado na Figura 12.

Figura 16 - Rodovia MG-167



Fonte: (Adaptado de GOOGLE, 2017).

3.1.2 Local de Estudo

O local escolhido para estudo encontra-se na rodovia MG-167, no trecho Três Pontas/Entr° BR-491 A (Varginha), quilômetro 29,1, a uma latitude $21^{\circ}27'59''$ sul, a uma longitude $45^{\circ}30'52''$ oeste e a uma altitude de 780 metros. Esse trecho da rodovia é caracterizado por fazer a ligação entre os municípios de Três Pontas e Varginha.

Figura 17 - Local de Estudo



Fonte: (Adaptado de GOOGLE, 2017).

3.1.3 Caracterização do Problema

No local objeto do presente estudo encontra-se um bueiro de grota danificado com diâmetro de 1,60 metros, comprimento de 17,5 metros, dimensões estas medidas com auxílio de fita métrica e declividade de 0,043 m/m. Sua cota a montante é 780,995 metros e a jusante 780,245 metros, medidas com o auxílio de GPS.

Esse bueiro é caracterizado como simples por possuir uma única linha de tubos, tubular já que sua seção é circular, metálico por ser constituído de chapas metálicas corrugadas. Devido à essas características é denominado Bueiro Simples Tubular Metálico - BSTM.

Foi evidenciado através de visita in loco erosões sobre o bueiro, comprometendo a estrutura e a segurança da via, como pode ser visto na Figura 18.

Figura 18 - Bueiro danificado



Fonte: o autor.

Na Figura 19 é possível observar uma erosão em estado avançado sobre a montante do bueiro, atingindo metade da pista, colocando em risco os usuários da rodovia.

Figura 19 - Erosões sobre o bueiro



Fonte: o autor.

Está situado na cota mais baixa de sua bacia hidrográfica e possui a finalidade de transpor as águas captadas da bacia de um lado para o outro da rodovia, de maneira a não comprometer o corpo estradal. Em visitas in loco foi possível analisar também a inexistência de outros dispositivos de drenagem capazes de auxiliar a transposição das águas provenientes

da bacia de contribuição, visto que os demais bueiros de grotta que constavam no projeto não estavam cumprindo sua função. Sendo que o um dos bueiros foi encontrado em situação de assoreamento, conforme pode ser visto na figura 20.

Figura 20 - Bueiro obstruído.



Fonte: o autor.

Um segundo bueiro não possui declividade suficiente para escoar a água, acumulando a mesma em sua montante que é escoada no sentido do bueiro em estudo, como é mostrado na figura 21.

Figura 21 - Bueiro com declividade deficiente.

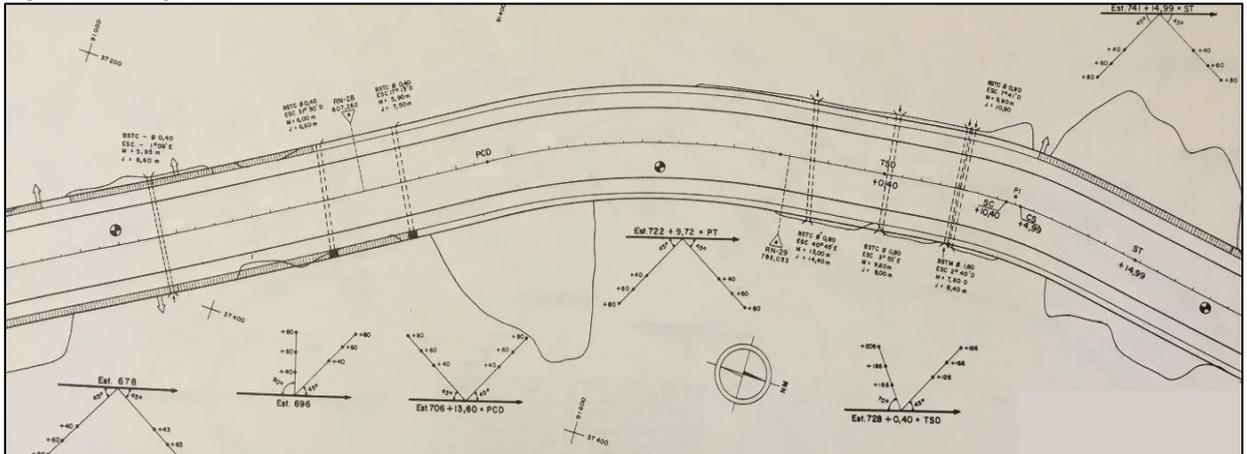


Fonte: o autor.

Os demais bueiros não foram encontrados e o DEER/MG não possui o projeto de “as built” dessa rodovia.

A Figura 22 é a demonstração do projeto planialtimétrico disponibilizado pelo órgão responsável pela rodovia, no qual é possível visualizar os bueiros de grota que constavam em projeto. Está disponibilizado também no anexo A, para uma melhor visualização.

Figura 22 - Projeto do trecho em estudo.



Fonte: DEER/MG.

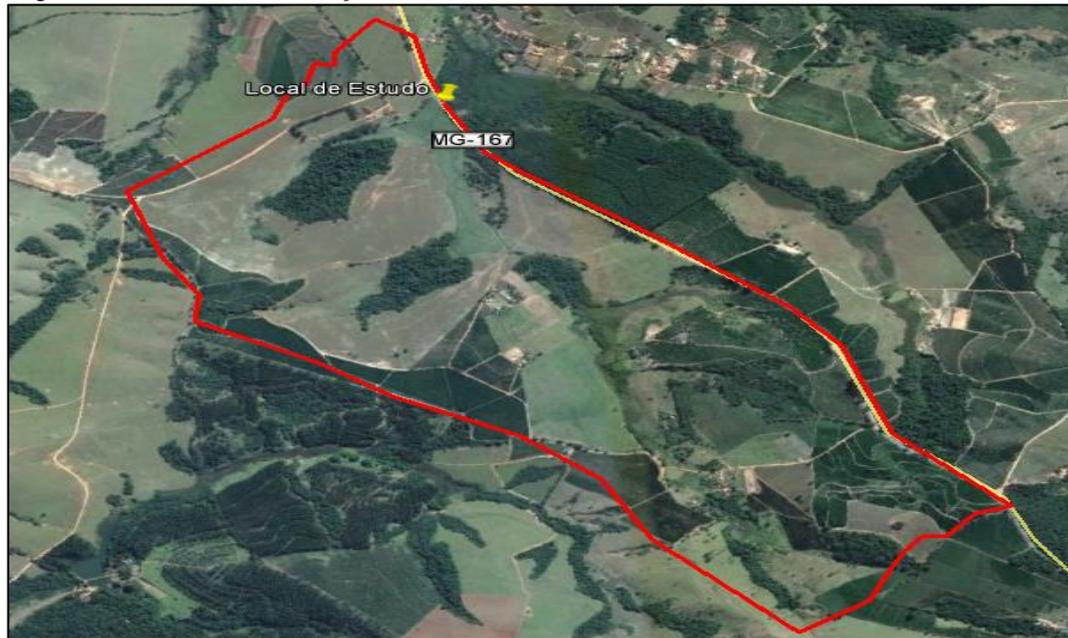
3.2 Métodos

3.2.1 Parâmetros Hidrológicos

3.2.1.1 Bacia de Contribuição

A demarcação da área que contribui para a bacia de drenagem do local em estudo foi feita por meio do software de imagem de satélite Google Earth (GOOGLE, 2017). Partindo do eixo da rodovia, e observando as condições topográficas que determinam o sentido do fluxo do escoamento, foi delimitada a área de contribuição totalizando em aproximadamente 3,1 km², conforme Figura 23. As curvas de nível estão disponibilizadas no apêndice B para uma melhor visualização.

Figura 23 - Bacia de Contribuição do local em estudo



Fonte: (Adaptado de GOOGLE, 2017).

3.2.1.2 Intensidade de Precipitação

Para a obtenção dos parâmetros K , a , b , c da Equação (1) para o cálculo da intensidade de precipitação foi utilizado o software Plúvio 2.0 (GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS, 2006) desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, quando não tivermos uma equação específica para um determinado local.

$$Im = \frac{K \times Tr^a}{(tc+b)^c} \quad (1)$$

Onde:

Im : intensidade média, (mm/h)

Tr : período de retorno, (anos)

Tc : tempo de concentração, (min)

K , a , b e c : Parâmetros relativos à localidade retirada do software Pluvio desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa Minas Gerais - UFV.

3.2.1.3 Tempo de Recorrência ou Período de Retorno

Conforme as características da bacia de contribuição, considerando um sistema de macrodrenagem com um bueiro tubular como estrutura hidráulica, conforme visto no Quadro 3 disponibilizado pelo DNIT (2006), foi considerado um período de retorno de 25 anos.

3.2.1.4 Tempo de Concentração

Para o tempo de concentração foi utilizado a fórmula de George Ribeiro, Equação (4) recomendada por Tomaz (2012), podendo ser utilizada para qualquer bacia.

$$tc = \left[\frac{16L}{L(1,05-0,2\rho).(100D)^{0,04}} \right] + 10 \quad (4)$$

Onde:

tc : tempo de concentração da bacia, em min.;

L : comprimento do talvegue principal, em km;

ρ : fração da área da bacia coberta com vegetação, adimensional;

D : declividade média do talvegue principal, em m/m.

3.2.1.5 Coeficiente de Escoamento Superficial

Para o cálculo do coeficiente de deflúvio, foi feito usando a média ponderada, conforme a Equação (6).

$$C_{médio} = \frac{C_1.A_1 + C_2.A_2 + \dots + C_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (6)$$

Onde:

$C_{médio}$: coeficiente de escoamento superficial médio;

C_1, C_2, C_n : coeficientes de escoamento superficial das áreas A_1, A_2, A_n ;

A_1, A_2, A_n : áreas que possuem os coeficientes C_1, C_2, C_n .

3.2.1.6 Vazão da Bacia Hidrográfica

Para o cálculo da vazão da bacia hidrográfica foi utilizado o Método Racional, Equação (7) recomendada pelo DNIT (2006), para áreas menores que 4 km².

$$Q = 0,0028 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (7)$$

Onde:

Q : Vazão (m³/s)

A : Área drenada (ha)

I : Intensidade de chuva (mm/h)

C : Coeficiente de Deflúvio

3.2.2 Levantamento da estrutura hidráulica existente

Segundo DNIT (2006), o dimensionamento como canal deverá ser feito pela fórmula de Manning associada à Equação da Continuidade, Equação (23).

$$Q = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot A \quad (23)$$

Onde:

Q : vazão do bueiro (m³/s);

A : área da seção molhada (m²);

R : raio hidráulico (m);

I : declividade do bueiro (m/m);

n : coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional).

A área molhada e o perímetro molhado foram obtidos através das equações (16) e (17).

Área molhada:

$$A = \frac{\theta - \text{sen}\theta}{8} \cdot D^2 \quad (16)$$

Onde:

A : Área molhada (m^2)

\varnothing : Ângulo \varnothing (rad) – como demonstra a Figura 9

D : Diâmetro (m)

Perímetro molhado:

$$P = \frac{\varnothing}{2} \cdot D \quad (17)$$

Onde:

P : Perímetro molhado (m)

\varnothing : Ângulo \varnothing (rad) – como demonstra a Figura 9

D : Diâmetro da seção transversal (m)

Encontrada a área molhada e o perímetro molhado foi possível obter o raio hidráulico conforme Equação (21).

$$R = \frac{A}{P} \quad (21)$$

Onde:

R : raio hidráulico (m);

A : área da seção molhada (m^2);

P : perímetro molhado (m).

3.2.3 Comparação das vazões

Finalmente obtidas tanto a vazão da bacia, quanto a vazão que o bueiro existente em estudo é capaz de transportar sozinho e com a ajuda dos demais bueiros, bastou compará-las para verificar se estão dimensionadas corretamente.

3.2.4 Dimensionamento da nova estrutura hidráulica

Os bueiros foram calculados por tentativas. Primeiramente foi feito um pré-dimensionamento e depois os cálculos para verificação. Para o dimensionamento de bueiros triplos foi dividida a vazão máxima por três.

Segundo DNIT (2006), o dimensionamento como canal deverá ser feito pela fórmula de Manning associada à Equação da Continuidade, Equação (23).

$$Q = \frac{R^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot A \quad (23)$$

Onde:

Q : vazão do bueiro (m³/s);

A : área da seção molhada (m²);

R : raio hidráulico (m);

I : declividade do bueiro (m/m);

n : coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional).

A área molhada e o perímetro molhado foram obtidos através das equações (16) e (17) para o bueiro tubular.

Área molhada:

$$A = \frac{\phi - \text{sen}\phi}{8} \cdot D^2 \quad (16)$$

Onde:

A : Área molhada (m²)

ϕ : Ângulo ϕ (rad) – como demonstra a Figura 9

D : Diâmetro (m)

Perímetro molhado:

$$P = \frac{\phi}{2} \cdot D \quad (17)$$

Onde:

P : Perímetro molhado (m)

\emptyset : Ângulo (rad) – como demonstra a Figura 9

D : Diâmetro da seção transversal (m)

A área molhada e o perímetro molhado foram obtidos através das equações (18) e (19) para o bueiro celular.

Área molhada:

$$A = B \cdot d \quad (18)$$

Onde:

A : Área molhada (m²)

B : Base do bueiro (m)

d : Altura da lâmina d'água (m)

Perímetro molhado:

$$P = B + 2d \quad (19)$$

Onde:

P : Perímetro molhado (m)

B : Base do bueiro (m)

d : Altura da lâmina d'água (m)

Encontrada a área molhada e o perímetro molhado foi possível obter o raio hidráulico conforme Equação (21).

$$R = \frac{A}{P} \quad (21)$$

Onde:

R : raio hidráulico (m);

A : área da seção molhada (m^2);

P : perímetro molhado (m).

A velocidade adotada foi de 4m/s, já que de acordo com Diogo (2008) a velocidade ideal para bueiros é aquela que se situa entre a mínima (0,75m/s) e a máxima (6m/s), tal velocidade também se justifica para atender uma declividade ideal de (0,4% a 5%) exigida pelo DNIT.

O regime de escoamento foi verificado através da declividade crítica e também do número de Froude.

Declividade Crítica

Bueiros Tubulares

$$I_c = 32,82 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad (25)$$

Onde:

I_c = Declividade crítica (m/m)

D = Diâmetro (m)

n = coeficiente de rugosidade de Mannig (adimensional)

Bueiros Celulares

$$I_c = \frac{2,60 \cdot n^2}{H^{\frac{1}{3}}} \cdot \left(3 + \frac{4H}{B}\right)^{\frac{4}{3}} \quad (24)$$

Onde:

I_c = Declividade crítica (m/m)

B = Base da seção (m)

H = Altura da seção (m)

n = coeficiente de rugosidade de Manning (adimensional)

Número de Froude

$$F = \frac{V}{(g \cdot y)^{0,5}} \quad (15)$$

Onde:

F : número de Froude (adimensional);

V : velocidade (m/s);

g : aceleração da gravidade (9,81 m/s²);

y : profundidade do fluxo (m).

4 RESULTADOS

Perante aos problemas apresentados, a partir de buscas em livros, dissertações, artigos, levantamento de campo e consultas ao órgão público estadual, o presente trabalho identificará nos resultados as principais causas dos acontecimentos.

4.1 Estudos Hidrológicos

4.1.1 Tempo de Concentração

O tempo de concentração da bacia foi determinado através da Equação (4) de George Ribeiro, após serem obtidos o comprimento do talvegue principal, porcentagem de cobertura vegetal e declividade do talvegue principal.

$$L = 3,232 \text{ km};$$

$$\rho = 0,9;$$

$$D = 0,0263 \text{ m/m.}$$

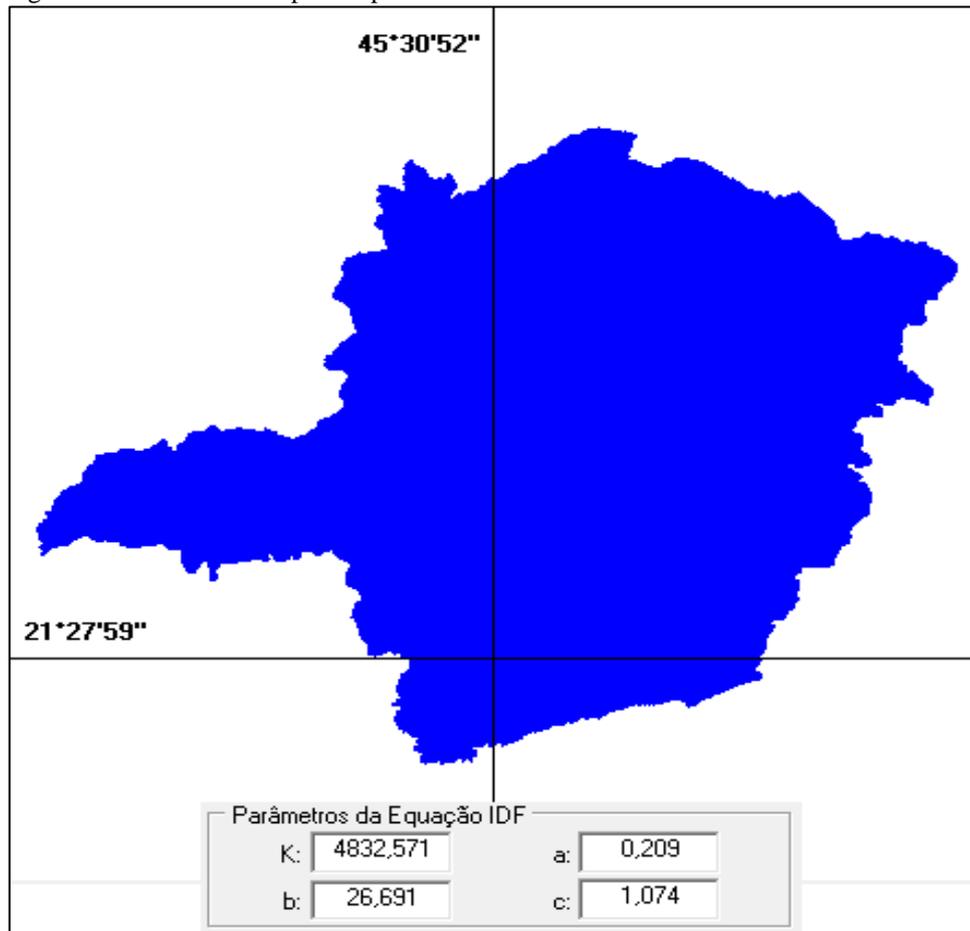
$$tc = \left[\frac{16 \cdot 3,232}{(1,05 - 0,2 \cdot 0,9) \cdot (100 \cdot 0,0263)^{0,04}} \right] + 10 \quad (4)$$

$$tc = 67,45 \text{ min}$$

4.1.2 Intensidade de Precipitação

O software Plúvio 2.0 (GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS, 2006) disponibiliza os coeficientes K, a, b, c para determinação da intensidade de precipitação através da Equação (1), para a latitude 21°27'59" sul e a longitude 45°30'52" oeste.

Figura 24 - Parâmetros empíricos para cálculo da intensidade de chuva



Fonte: (Adaptado de GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HIDRICOS, 2006).

$$I_m = \frac{4832,571 \times 25^{0,209}}{(67,45 + 26,691)^{1,074}} \quad (1)$$

$$I_m = 71,86 \text{ mm/h}$$

4.1.3 Coeficiente de Escoamento Superficial

Foi determinado o "C" médio, coeficiente de escoamento superficial, através das áreas e coeficientes unitários de cada uma como mostra o Quadro 3:

Quadro 11 - Definição de áreas e coeficientes de escoamento superficial

Tipo de Área	Área (km ²)	"C"
Revestimento Betuminoso	0,31	0,90
Sem Revestimento	2,79	0,30

Fonte: o autor.

$$C_{\text{médio}} = \frac{0,90 \cdot 0,31 + 0,30 \cdot 2,79}{2,79 + 0,31} \quad (6)$$

$$C_{\text{médio}} = 0,36$$

4.1.4 Vazão da Bacia de Contribuição

Após ter obtido a intensidade pluviométrica e o coeficiente de escoamento superficial médio é possível determinar a vazão total da bacia em estudo através do Método Racional:

$$Q = 0,0028 \cdot 0,36 \cdot 71,86 \cdot 310 \quad (7)$$

$$Q = 22,45 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.2 Estrutura hidráulica existente

Uma vez obtida a vazão de chuva da bacia de drenagem, foi feito o cálculo da capacidade de escoamento da estrutura hidráulica do bueiro existente, considerando as condições de topografia do local, e uma altura de lâmina de água de $0,9 \cdot D$, sendo D o diâmetro do bueiro. O coeficiente de rugosidade de Manning foi considerado igual a $0,025$, uma vez que se trata de uma estrutura já existente.

Área molhada:

$$\emptyset = 286^\circ = 4,99164\text{rad} \quad (16)$$

$$A = \frac{4,99164\text{rad} - \text{sen}4,99164\text{rad}}{8} \cdot 1,60^2$$

$$A = 1,9 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = \frac{4,99164\text{rad}}{2} \cdot 1,60 \quad (17)$$

$$P = 3,99 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{1,9}{3,99} \quad (21)$$

$$R = 0,476 \text{ m}$$

Fórmula de Manning + Equação da Continuidade

$$Q = \frac{0,476^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,025} \cdot 1,9 \quad (23)$$

$$Q = 9,61 \text{ m}^3/\text{s}$$

Através dos cálculos, foi encontrada uma vazão de 9,61 m³/s para o qual o bueiro suporta. Ao compará-la com a vazão da bacia hidrográfica que é de 22,45 m³/s, fica evidente que o bueiro não foi projetado para suportar sozinho toda a vazão da bacia.

Entretanto, o projeto nos mostra que era para existir mais bueiros em campo, então foi decidido fazer os cálculos para verificar se com a contribuição dos mesmos, tal problema não existiria. Foi considerado a mesma declividade do bueiro em estudo para os demais, pela inexistência de dados, uma altura de lâmina de água de 0,9.D e o coeficiente de rugosidade de Manning foi usado para o concreto, visto que é o material desses bueiros.

BSTC de 0,80m

Área molhada:

$$\emptyset = 286^\circ = 4,99164\text{rad} \quad (16)$$

$$A = \frac{4,99164\text{rad} - \text{sen}4,99164\text{rad}}{8} \cdot 0,8^2$$

$$A = 0,48 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = \frac{4,99164\text{rad}}{2} \cdot 0,8 \quad (17)$$

$$P = 2,00 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{0,48}{2,00} \quad (21)$$

$$R = 0,24 \text{ m}$$

Fórmula de Manning + Equação da Continuidade

$$Q = \frac{0,4^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \cdot 0,78 \quad (23)$$

$$Q = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como constava em projeto três bueiros de 0,80m o resultado será multiplicado por três.

$$Q = 9,6 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bueiro de 0,40m

Área molhada:

$$\emptyset = 286^\circ = 4,99164\text{rad} \quad (16)$$

$$A = \frac{4,99164\text{rad} - \text{sen}4,99164\text{rad}}{8} \cdot 0,4^2$$

$$A = 0,21 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = \frac{4,99164\text{rad}}{2} \cdot 0,4 \quad (17)$$

$$P = 1,00 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{0,21}{1,00} \quad (21)$$

$$R = 0,21 \text{ m}$$

Fórmula de Manning + Equação da Continuidade

$$Q = \frac{0,21^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \cdot 0,21 \quad (23)$$

$$Q = 1,28 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como constava em projeto três bueiros de 0,40m o resultado será multiplicado por três.

$$Q = 3,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Somadas todas as vazões encontramos uma vazão de suporte do sistema de 23,06 m³/s e comparando com a vazão da bacia de contribuição que é de 22,45m³/s, demonstra que o mesmo não foi planejado de forma incorreta, porém com a não execução do que foi projetado ou a degradação dos bueiros demonstrados, acabaram sobrecarregando um único ponto, que obviamente seria o ponto mais baixo da bacia, explicando o porquê do bueiro estudado ter apresentado tal problema.

5 PROPOSTA DE READEQUAÇÃO DO SISTEMA

Conforme foi comprovado, o problema de drenagem na Rodovia MG-167 ocorreu devido ao bueiro em estudo ter sido sobrecarregado, visto que os bueiros auxiliares estavam todos sem função hidráulica.

Entendeu-se que a solução mais viável para sanar o problema relacionado à drenagem de transposição de talwegues do km 29,1 da rodovia MG-167 seria a substituição do bueiro existente por outro capaz de transportar toda a vazão da bacia de contribuição, salientando que ele está localizado no ponto mais baixo de sua bacia hidrográfica.

Foi descartada a hipótese de tentar recuperar os demais bueiros por conta de ser uma rodovia de alto fluxo e a interdição ponto a ponto da mesma causaria muitos transtornos. Sendo que muitos desses bueiros possuem dimensões não recomendadas atualmente pelo DNIT.

Salienta-se que o foco desse trabalho é a drenagem de transposição de talwegues e não a drenagem superficial, porém a contribuição de chuva da pista de rolamento foi considerada nos cálculos da vazão da bacia hidrográfica.

5.1 Dimensionamento para bueiros tubulares

BTTC com 1,5m de diâmetro

Altura de lâmina de água de 0,9.D

Área molhada:

$$\emptyset = 286^\circ = 4,99164\text{rad} \quad (16)$$

$$A = \frac{4,99164\text{rad} - \text{sen}4,99164\text{rad}}{8} \cdot 1,50^2$$

$$A = 1,67 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = \frac{4,99164\text{rad}}{2} \cdot 1,50 \quad (17)$$

$$P = 3,74 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{1,67}{3,74} \quad (21)$$

$$R = 0,44 \text{ m}$$

Vazão da bacia de contribuição: $Q=22,45 \text{ m}^3/\text{s} \approx Q=23 \text{ m}^3/\text{s}$

Como o bueiro é triplo, foi feito o cálculo para apenas um tubo e no final multiplicado por três.

Vazão que passará por um tubo: $Q= 8 \text{ m}^3/\text{s}$

$$8,0 = \frac{0,44^{2/3} \cdot I^{1/2}}{0,012} \cdot 1,67 \quad (23)$$

$$I = 0,077 \text{ m/m}$$

Verificação da velocidade:

$$V = \frac{0,44^{2/3} \cdot 0,077^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$$V = 13,37 \text{ m/s} \rightarrow \text{é maior que } 6 \text{ m/s} \text{ então não ok!}$$

Fixando a velocidade em 4,0 m/s, encontramos uma declividade:

$$4,0 = \frac{0,44^{2/3} \cdot I^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$$I = 0,008 \text{ m/m}$$

Com essa declividade é possível encontrar a vazão:

$$Q = \frac{0,44^{2/3} \cdot 0,008^{1/2}}{0,012} \cdot 1,67 \quad (23)$$

$Q = 7,7 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ para 3 tubos $\rightarrow 7,7 \times 3 \rightarrow 23,15 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ é maior que a vazão da bacia de contribuição, então ok!

Cálculo da declividade crítica

$$I_c = 32,82 \frac{n^2}{\sqrt[3]{D}} \quad (25)$$

$$I_c = 32,82 \frac{0,012^2}{\sqrt[3]{1,5}}$$

$$I_c = 0,0041 \text{ m/m}$$

$$I = 0,008 \text{ m/m} > I_{\text{crítica}} = 0,0041 \text{ m/m}$$

Como a declividade calculada é maior que a crítica → **REGIME CRÍTICO!**

5.2 Dimensionamento para bueiros celulares

Primeira tentativa:

BSCC com dimensões 2,0 x 2,5 m

$$\text{Folga} = 0,20 \cdot h$$

$$\text{Folga} = 0,20 \cdot 2,0$$

$$\text{Folga} = 0,4 \text{ m}$$

Área molhada:

$$A = 2,5 \cdot 1,6 \tag{18}$$

$$A = 4 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = 2,5 + 2 \cdot 1,6 \tag{19}$$

$$P = 5,7 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{4}{5,7} \tag{21}$$

$$R = 0,7 \text{ m}$$

Vazão da bacia de contribuição: $Q=22,45 \text{ m}^3/\text{s}$

Cálculo da vazão utilizando a mesma declividade encontrada no bueiro em estudo:

$$Q = \frac{0,7^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \cdot 4 \tag{23}$$

$$Q = 54,5 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow \text{é maior que a vazão da bacia de contribuição, então ok!}$$

Verificando a velocidade:

$$V = \frac{0,7^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$V = 13,62 \text{ m/s}$ → é maior que 6 m/s então não ok!

Fixando a velocidade em 4,0 m/s, encontramos uma declividade:

$$4,0 = \frac{0,7^{2/3} \cdot I^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$$I = 0,0045 \text{ m/m}$$

$$Q = \frac{0,7^{2/3} \cdot 0,0045^{1/2}}{0,012} \cdot 4 \quad (23)$$

$Q = 18,01 \text{ m}^3/\text{s}$ → é menor que a vazão da bacia de contribuição, então, não ok!

Como a vazão de suporte do bueiro é inferior a vazão da bacia de contribuição será necessário aumentar as dimensões.

Segunda tentativa:

BSCC com dimensões 2,0 x 3,00 m

Área molhada:

$$A = 3,0 \cdot 1,6 \quad (18)$$

$$A = 4,8 \text{ m}^2$$

Perímetro molhado:

$$P = 3,0 + 2 \cdot 1,6 \quad (19)$$

$$P = 6,2 \text{ m}$$

Raio Hidráulico:

$$R = \frac{4,8}{6,2} \quad (21)$$

$$R = 0,77 \text{ m}$$

Cálculo da vazão utilizando a mesma declividade encontrada no bueiro em estudo:

$$Q = \frac{0,77^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \cdot 4,8 \quad (23)$$

$Q = 69,7 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ é maior que a vazão da bacia de contribuição, então ok!

Verificando a velocidade:

$$V = \frac{0,77^{2/3} \cdot 0,043^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$V = 14,52 \text{ m/s} \rightarrow$ é maior que 6 m/s então não ok!

Fixando a velocidade em 4,0 m/s, encontramos uma declividade:

$$4,0 = \frac{0,77^{2/3} \cdot I^{1/2}}{0,012} \quad (20)$$

$$I = 0,005 \text{ m/m}$$

$$Q = \frac{0,77^{2/3} \cdot 0,005^{1/2}}{0,012} \cdot 4,8 \quad (23)$$

$Q = 24,23 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow$ é maior que a vazão da bacia de contribuição, então ok!

Cálculo da declividade crítica

$$I_c = \frac{2,60 \cdot 0,012^2}{\frac{1}{2^3}} \cdot \left(3 + \frac{4,2}{3}\right)^{\frac{4}{3}} \quad (24)$$

$$I_c = 0,004 \text{ m/m}$$

$$I = 0,005 \text{ m/m} > I_{\text{crítica}} = 0,004 \text{ m/m}$$

Como a declividade calculada é maior que a crítica \rightarrow **REGIME CRÍTICO!**

Conferindo o regime de escoamento através do número de Froude:

$$F = \frac{4}{(9,81 \cdot 1,6)^{0,5}} \quad (15)$$

$$F = 1 \rightarrow \text{REGIME CRÍTICO!}$$

5.3 Especificação dos serviços

Conforme foi comprovado nos cálculos um BTTC com 1,5 de diâmetro e um BSCC de 2,00 x 3,00 m atenderiam para a solução do problema, mas como Tomaz (2013) nos diz que a boa prática é evitar se fazer bueiros múltiplos, o BSCC de 2,00 x 3,00 m foi escolhido para solucionar o problema de drenagem apresentado no presente estudo. Serão utilizadas aduelas de concreto pré-moldadas no padrão DER e quanto a esconsidade o bueiro será projetado perpendicular ao eixo da rodovia.

Para a execução da obra será necessário remanejar o tráfego para uma das pistas fazendo-a trabalhar com o esquema de pare e siga, assim será possível trabalhar em esquema de meia seção, executando os serviços necessários em duas etapas, metade da rodovia em cada etapa, salientando que a junta de encaixe tipo macho-fêmea desse tipo de bueiro nos permite esse tipo de execução.

Como pode-se analisar no relatório de sondagem de solo a percussão (SPT) disponibilizado no anexo C, foi encontrado uma grande camada de solo considerado “moles” e a estabilização do terreno deverá ser executado através de fundação direta (empedramento fortemente compactado).

Foi decidido também utilizar grama em placa nos taludes dos aterros com intuito de evitar e combater problemas de erosões do solo.

5.4 Estimativa de custo

Para a elaboração da estimativa de custo da proposta de readequação do sistema de drenagem do quilômetro 29,1 da rodovia MG-167, utilizou-se as tabelas referenciais de obras de edificações e rodoviárias do mês de julho/2017, fornecida através do site do Departamento de Edificações e Estradas de Rodagem do Estado de Minas Gerais (DEER/MG). O quadro 12 mostra o resumo do custo total da obra, que pode ser vista na íntegra no quadro 13 no Apêndice B.

Quadro 12 - Resumo do custo da obra

DESCRIÇÃO	VALOR (R\$)
Terraplenagem	124.485,34
Drenagem	191.644,72
Pavimentação	55.939,73
Sinalização	1.906,80
Conservação	24.880,62
Total	398.857,21

Fonte: o autor.

O DEER/MG disponibilizou um croqui do que eles planejavam realizar para sanar o problema de drenagem, o mesmo encontra-se no anexo B. Porém, tomaram a decisão de realizar um outro tipo de bueiro, um BDTM (Bueiro Duplo Tubular Metálico), visto que o órgão já possuía as chapas metálicas, mas para a execução desse tipo de bueiro se faz necessário a realização de um desvio do tráfego, já que o mesmo não pode ser executado a meia pista e o tráfego não pode cessar. Foi disponibilizado também o valor dessa obra que foi de R\$ 800.000,00. Ao compará-lo com o orçamento da solução apresentada nesse estudo, fica evidente que o BSCC é mais econômico além de ser tecnicamente viável.

6 CONCLUSÃO

Para o sistema de drenagem objeto deste estudo, chegou-se à conclusão que o fator causador do problema apresentado na Rodovia MG-167 foi a sobrecarga de um dos componentes do sistema, já que os demais elementos estavam sem função hidráulica. Isso pode ter ocorrido devido a uma série de fatores, dentre os quais destaca-se a má conservação da rodovia ou até mesmo erros de execução.

Entendeu-se que a solução mais viável para sanar o problema relacionado à drenagem seria a substituição do bueiro existente por outro capaz de transportar toda a vazão da bacia de contribuição, salientando que ele está localizado no ponto mais baixo de sua bacia hidrográfica. Foi descartada a hipótese de tentar recuperar os demais bueiros por conta de ser uma rodovia de alto fluxo e a interdição ponto a ponto da mesma causaria muitos transtornos.

Ressalta-se que o foco desse trabalho é a drenagem de transposição de talvegues e não a drenagem superficial, porém a contribuição de chuva na pista de rolamento foi considerada nos cálculos da vazão da bacia hidrográfica.

A água causa muitas deficiências em uma rodovia e uma conservação adequada da drenagem acarreta em muitas vantagens, proporcionando benefícios indiretos, já que uma drenagem eficiente é essencial para o bom desempenho da estrada, visto que é a responsável por manter a integridade do corpo estradal e de tudo que está ao seu redor, bem como a segurança de quem trafega na via.

O bom planejamento do sistema de drenagem também é de grande importância, já que implica em grandes economias. Foi executado um BDTM de dois metros de diâmetro e para a execução do mesmo se faz necessário a construção de um desvio, que elevou o valor da obra. Tal obra poderia ter tido um valor reduzido e uma técnica excelente, como foi apresentado no presente estudo, com o dimensionamento de um BSCC de 2,00x3,00m que pode ser realizado em esquema de meia seção, executando os serviços necessários em duas etapas, metade da rodovia em cada etapa, evitando assim a construção de um desvio.

Com isso, fica evidente que para um sistema de drenagem eficiente é necessário um projeto adequado ao local aliado a um bom planejamento e a uma conservação periódica, efetuando-se a limpeza e a desobstrução dos dispositivos.

REFERÊNCIAS

- AUTODESK. **AutoCAD**. Version 2016. [S.l.]: Autodesk, 2016. Disponível em: <<https://www.autodesk.com.br/products/autocad/free-trial>>. Acesso em: 24 abr. 2017.
- AZEVEDO NETTO, José Martiniano. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. [S.l.]: Edgard Blucher, 2000. 669 p.
- BLUE MARBLE GEOGRAPHICS.: **Global Mapper™**. version 18.1.0. [S.l.]: Blue Marble Geographics, 2017. Disponível em: <<http://www.bluemarblegeo.com/index.php>>. Acesso em 26 abr. 2017
- BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Águas de chuva**: Engenharia das águas pluviais nas cidades. 3 ed. São Paulo: Blucher, 2011. 300 p.
- CARDOSO NETO, Antônio. **Sistemas urbanos de drenagem**. [S.l.: s.n.], [199-]. Disponível em:<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/ProducaoAcademica/Antonio%20Cardoso%20Neto/Introducao_a_drenagem_urbana.pdf>. Acesso em: 07 abr. 2017.
- CARVALHO, Daniel Fonseca de; SILVA, Leonardo Duarte Batista da. Bacia Hidrográfica. **Hidrologia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. Cap. 3, p. 15-32. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap3-BH.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2017
- CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA DE MINAS GERAIS. **Capacitação de técnicos e gestores para elaboração do plano municipal de saneamento básico**. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <<http://docplayer.com.br/8141742-Capacitacao-de-tecnicos-e-gestores-para-elaboracao-do-plano-municipal-de-saneamento-basico-modulos-1-2-e-3.html>>. Acesso em: 07 abr. 2017.
- COSTA, Alfredo Ribeiro da; MENEZES FILHO, Carlos Martins de. Sistemática de Cálculo para o Dimensionamento de Galerias de Águas Pluviais: uma Abordagem Alternativa. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.l.], v. 4, n. 1, 2012. Disponível em: <<https://www.revistas.ufg.br/reec/article/view/18162>>. Acesso em: 23 abr. 2017
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Manual de procedimentos para elaboração de estudos e projetos de engenharia Rodoviária**. Volume VII. Disponível em:<<http://www.der.mg.gov.br/institucional/legislacao/normas-tecnicas-dermg>>. Acesso em: 17 abr. 2017
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Rodovias Estaduais**. Disponível em:<<http://der.mg.gov.br/saiba-sobre/rede-rodoviaria>>. Acesso em: 22 abr. 2017
- DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES E ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Tabelas referenciais de obras de edificações e rodoviárias**. Disponível

em: < http://www.der.mg.gov.br/images/2017/Assessoria-de-custos/tabela_referencial_%2007_2017.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2017

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários**. Rio de Janeiro, 2006. 482 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Manual de drenagem de Rodovias**. Rio de Janeiro, 2006. 327 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Manual de hidrologia básica para estradas de drenagem**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005. 133 p.

DIOGO, Francisco José d'Almeida; SCIAMMARELLA, José Carlos. **Manual de pavimentação urbana**. Drenagem: manual de projetos. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2008.

FERNANDES, Carlos. Sistema de drenagem urbana. **Microdrenagem**: um estudo inicial. Campo Grande: Universidade Federal de Campina Grande, 2012. Cap. 1. Disponível em: < <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Dren01.html> >. Acesso em: 02 abr. 2017.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 356 p.

GOOGLE. **Google Earth**. Version 7.1.8.30.36 [S.l.]: Google, 2017. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-PT/earth/>>. Acesso em: 24 abr. 2017.

GRIBBIN, John E. **Introdução à hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4. ed. [S.l.]: Trilha, 2015. 544 p.

GRUPO DE PESQUISA EM RECURSOS HÍDRICOS. **Plúvio**. Version 2.1. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006. Disponível: <<http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares>>. Acesso em 28 abr. 2017.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de Rodovias**: Estudos hidrológicos e projeto de drenagem. [S.l.: s.n.], 2013. 178 p.

MARTINS, José Rodolfo Scarati. **Gestão de drenagem urbana**: só tecnologia será suficiente?. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/outorgatreinamento/Obras_Hidr%C3%A1ulic/gestaodrenagem.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2017

MORALES, Paulo Roberto Dias. **Curso de drenagem urbana e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2003. 176 p. Apostila.

OLIVEIRA, Francisco Maia de. **Drenagem de estradas**. [S.l.]: Associação Rodoviária do Brasil, 1947. 181 p.

PEREIRA, Djalma Martins et al. **Dispositivos de drenagem para obras rodoviárias**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2007. Disponível em: <<http://www.dtt.ufpr.br/TransportesA/Arquivos/ApostilaDrenagem-2008.pdf>>. Acesso em:

20 mar. 2017.

PEREIRA, Djalma Martins et al. **Composição de custos para obras rodoviárias**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: <http://www.engwhere.com.br/empreiteiros/Apostila_Custos_2010_UFPR.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2017.

RIGHETTO, Antônio Marozzi. **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 398 p.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano. **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos; diretrizes para projetos**. 3. ed. São Paulo: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano, 2012. 128p.

SPERLING, Marcos Von. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. 588 p.

TOMAZ, Plínio. **Bueiros ou Travessias**. [S.l.: s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/bueiros_travessia/capitulo_97_Routing_de_bueiros.pdf>. Acesso em: 21 ago. 2017.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. [S.l.: s.n.], 2012. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livro07calculo_hidrologico.pdf>. Acesso em: 10 abr. 2017.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; PORTO, Rubem La Laina; BARROS, Mário T. de. **Drenagem Urbana**. [S.l.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 428 p.

WILKWEN, Paulo Sampaio. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1978. 478 p.

APÊNDICE A – Vistoria a Campo

Figura 25 - Condições internas do bueiro com o sentido de escoamento da água



Fonte: o autor.

Figura 26 - Condições internas do bueiro com o sentido de escoamento da água



Fonte: o autor.

Figura 27 - Erosões sobre o bueiro



Fonte: o autor.

Figura 28 - Erosões sobre o bueiro



Fonte: o autor.

Figura 29 - Medição do comprimento do bueiro



Fonte: o autor.

Figura 30 - Medição do diâmetro do bueiro



Fonte: o autor.

Figura 31 - Vista panorâmica com indicação do ponto de estudo



Fonte: o autor.

APÊNDICE B – Planilha Orçamentária

Quadro 13 - Planilha Orçamentária

Item	Descrição	Unid.	Pr. Unit.	QUANT.	VALOR
				Data Base: 31/07/2017	
0101	TERRAPLENAGEM				124.485,34
43333	Desmatamento, destocamento e limpeza de árvores até Ø 30 cm incluindo remanejamento para fora da linha de offsets e acerto do material	M2	0,28	4.000,00	1.120,00
40123	Remoção, transporte e espalhamento de solo mole. Distância média de transporte de 601 a 800 m	M3	12,82	960,00	12.307,20
40151	Escavação, carga, descarga, espalhamento e transporte de material de 1ª categoria, com caminhão. Distância média de transporte de 601 a 800 m	M3	6,97	1.123,20	7.828,70
40158	Escavação, carga, descarga, espalhamento e transporte de material de 1ª categoria, com caminhão. Distância média de transporte de 2001 a 2500 m	M3	10,19	405,60	4.133,06
40229	Enrocamento de pedra de mão jogada - (Execução incluindo o fornecimento de todos os materiais)	M3	97,37	960,00	93.475,20
40241	Compactação de bota-fora a 80% proctor normal	M3	2,02	1.555,20	3.141,50
40251	Compactação de aterro a 100% proctor normal	M3	2,87	864,00	2.479,68
0102	DRENAGEM				191.644,72
40363	Bueiro simples celular de concreto Padrão DER/MG. Para altura de aterro de 0 a 5,0 m. BSCC (2,00x3,00)m - corpo - (Execução, incluindo fornecimento e transporte de todos os materiais, exclusive escavação e compactação)	M	3.612,60	19,00	68.639,40
40401	Bueiro simples celular de concreto Padrão DER/MG. Para altura de aterro de 0 a 5,0 m. BSCC (2,00x3,00)m - boca - (Execução, incluindo fornecimento e transporte de todos os materiais, exclusive escavação e compactação)	U	9.229,70	2,00	18.459,40

Item	Descrição	Unid.	Pr. Unit.	QUANT.	VALOR
				Data Base: 31/07/2017	
0103	PAVIMENTAÇÃO				55.939,73
41081	Regularização do sub-leito, compactado na energia do proctor normal	M2	0,83	750,00	622,50
41104	Sub-base de solo estabilizado granulometricamente com mistura na pista, compactado na energia do proctor intermediário (Execução, incluindo escavação, carga, descarga, umidecimento, espalhamento e compactação do material; exclui aquisição do material)	M3	14,11	150,00	2.116,50
43859	Base de brita graduada tratada com 1,5% de cimento com mistura em usina, compactada na energia do proctor modificado (Execução, incluindo fornecimento e transporte do cimento, fornecimento da brita, umidecimento, homogeneização e compactação da mistura)	M3	101,70	114,00	11.593,80
41165	Imprimação com fornecimento do material betuminoso (Execução, incluindo fornecimento e transporte do material betuminoso)	M2	4,11	750,00	3.082,50
41167	Pintura de ligação com fornecimento do material betuminoso (Execução, incluindo fornecimento e transporte do material betuminoso)	M2	0,93	1.400,00	1.302,00
41186	Concreto betuminoso usinado a quente com fornecimento do material betuminoso (Faixa C) (Execução, incluindo fornecimento e transporte dos agregados e do material betuminoso)	M3	523,31	67,50	35.323,43
41211	Remoção e carga de todo pavimento existente	M3	6,33	300,00	1.899,00
0104	SINALIZAÇÃO				1.906,80
41239	Linhas de resina acrílica 0,6mm com Largura = 0,20m - (execução, inclusive pré-marcação, fornecimento e transporte de todos os materiais)	M	3,30	320,00	1.056,00
41230	Tacha refletiva tipo SHTRP, com catadióptrico nas duas faces (Execução, incluindo fornecimento, colocação e transporte de todos os materiais)	U	14,18	60,00	850,80
0105	CONSERVAÇÃO				R\$ 24.880,62
41348	Transporte de agregados para conservação. Distância média de transporte de 20,10 a 25,00 km	M3xKM	0,72	21.408,00	R\$ 15.413,76
41366	Transporte de concreto betuminoso usinado a quente. Distância média de transporte de 30,10 a 40,00 km (Densidade material solto)	M3xKM	0,77	6.318,00	R\$ 4.864,86
41402	Revestimento vegetal com gramas em placas (Execução incluindo fornecimento, umidecimento, corte e carga da grama).	M2	6,07	600,00	R\$ 3.642,00
41732	Transporte de grama	M2xKM	0,04	24.000,00	R\$ 960,00
TOTAL DOS SERVIÇOS (PI)					R\$ 398.857,21
OBS: Tabelas Referenciais de Obras de Edificações e Rodoviárias - DEER/MG - Data Base: 31/07/2017					

APÊNDICE C – Curvas de Nível

APÊNDICE D – Representação do trecho da rodovia na bacia

APÊNDICE E – Projeto de Drenagem

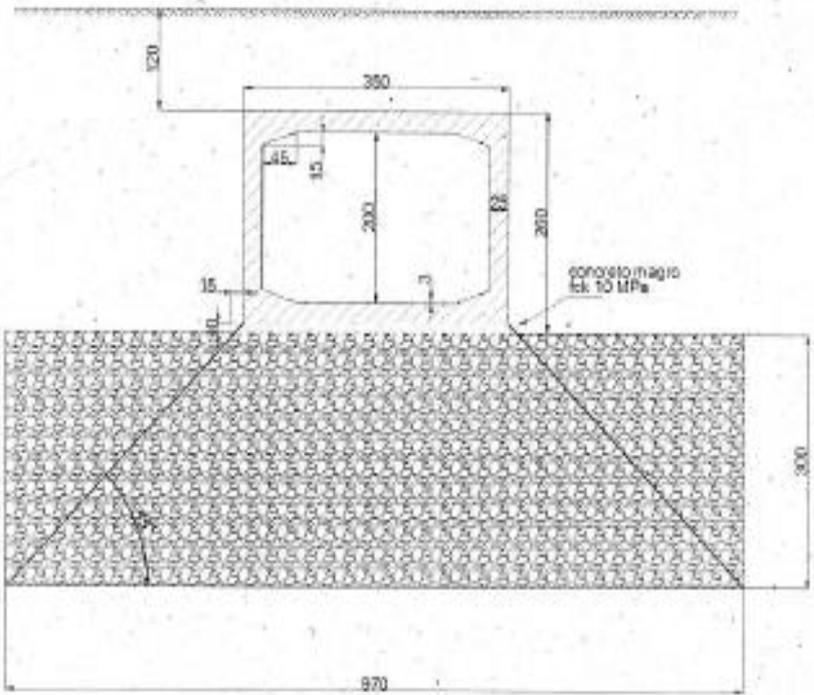
APÊNDICE F - Detalhes do dispositivo de drenagem

ANEXO A – Projeto Disponibilizado pelo DEER/MG

ANEXO B - Croqui do bueiro de acordo com o DEER/MG

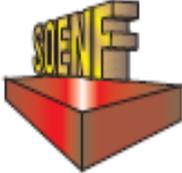
Figura 32 - Croqui do bueiro de acordo com a Diretoria de Projetos do DEER/MG

 <small>Departamento de Estradas e Estruturas do Estado de Minas Gerais</small>		GERÊNCIA DE PROJETOS DE PONTES E ESTRUTURAS-DP COMUNICAÇÃO INTERNA	
DE:	PARA:	DATA:	N°:
DPIGPP	10ª CRG- VARGINHA	09/03/2017	026/17
<p>Assunto: Análise de sondagem a percussão para fundação de bueiros em quadro rígido.</p> <p>Trecho: Três Pontas-Varginha</p> <p>Obra: BSCC 3,00 m x 2,00 m Altura de aterro: 1,20 m, sobre a laje superior. Estaca: 629</p> <p>O bueiro deverá ter fundação direta. A cava deverá receber um empedramento fortemente compactado de 3 metros de espessura com máquina D8 ou similar. O diâmetro mínimo das pedras principalmente nas camadas inferiores deverá ser de 0,50 m. O volume estimado de pedras para o corpo do bueiro é de 28,5 m³/m. Anexo um croqui.</p> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <hr style="width: 20%; margin: 0 auto;"/> <p>Eng. Manoel Sérgio Bortone Gerência de Projetos de Pontes e Estruturas</p> </div>			
Recebido por:	Matrícula:	Data:	
<i>Gilson - DS</i>	2127	<u>09.03.2017</u>	
710 49 1 6414pe@PE-2017/C1-17C006-2017.doc		pag. 1 de 1	

 <p>DEER MG</p> <p>Departamento de Estradas, Rodovias e Ferrovias do Estado de Minas Gerais</p>		<p>GERÊNCIA DE PROJETOS DE PONTES E ESTRUTURAS-DP COMUNICAÇÃO INTERNA</p>	
DE	DPIGPP	PARA:	10ª CRG- VARGINHA
		DATA:	08/03/2017
		Nº:	026/17
			
Recebido por:		Matricula:	
		Data:	
V03 49.1 04/dpe/DPE-2017/CJ-17/C3228-2017-Areia.doc		pág. 1 de 1	

ANEXO C – Relatório de Sondagem de Solo a Percussão

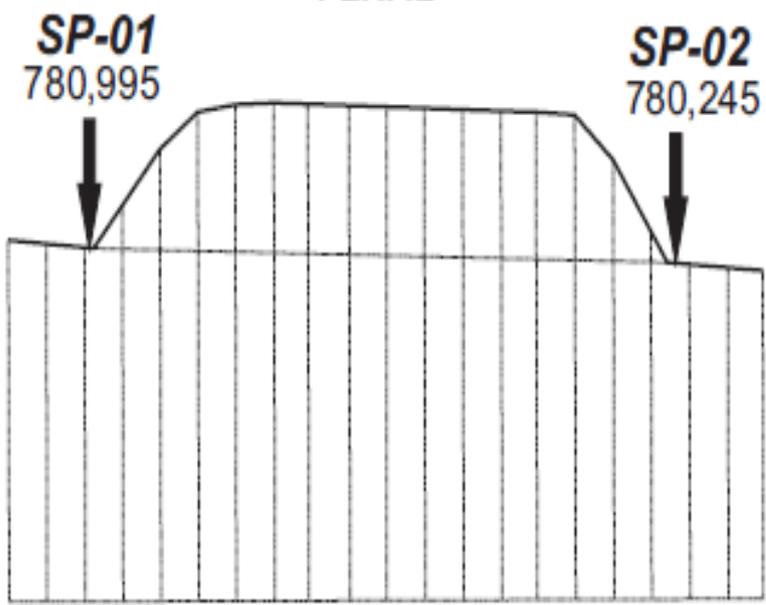
Figura 33 - Relatório de Sondagem de Solo a Percussão

 <p>Sondagens Ensaios Fundações</p> <p>CREA/MG: 65.265</p>	<p>SS Mecânica dos Solos Ltda</p>	
	<p>Ordem de Serviço:</p>	<p>Data: 02/03/2017</p>
<p>Trabalho nº: SS-1018.03/2017</p>	<p>Folha Nº: 01/04</p>	
<p>RELATÓRIO DE SONDAAGEM DE SOLO A PERCUSSÃO (SPT) CONFORME: NBR-6484/2001</p>		
<p>Ilm^o Sr^o.</p> <p>Estamos apresentando relatório técnico referente aos serviços contratados de Sondagem de Solo a Percussão (Standard Penetration Test).</p> <p>-Constam neste relatório, informações de 02 (dois) furos de sondagem de solo a percussão (SPT).</p> <p>EM RELAÇÃO A SONDAAGEM DE SOLO:</p> <p>-No Standard Penetration Test (SPT), o mais amplamente usado, o "barrilete amostrador" com 2" e 1.3/8" de diâmetros externo e interno, respectivamente, e que se abre longitudinalmente (para retirada de amostras), é fixado na extremidade das hastas de cravação e cravado 45 cm no solo, por dentro do tubo de sondagem. A cravação é feita por um peso de 65 kg, com 75 cm de altura de queda. Primeiramente se fazem penetrar 15 cm e, em seguida, se registra o número "N" de golpes aplicados para cravar os outros 30 cm, anotando-se separadamente cada 15 cm.</p> <p>FRISAMOS QUE, A PARTIR DA VERIFICAÇÃO DO SOLO, O TERRENO SONDADO É SUSCEPTÍVEL À EDIFICAÇÕES, COM TRABALHOS ESPECÍFICOS DE FUNDAÇÕES.</p> <p>Esperamos que nosso trabalho tenha êxito sob sua apreciação e do Eng^o responsável, queremos agradecer a oportunidade de termos contribuído para o sucesso da obra que se propõe. Estamos a disposição para quaisquer dúvidas em relação a este trabalho, queremos lembrar também nossa especialidade em execução de fundações. Sendo só para o momento, agradecemos.</p>		
<p>DICAS AO CONTRATANTE: Contrate apenas profissionais habilitados e registrados junto ao CREA/MG (Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia de Minas gerais). No equipamento de Sondagem, detalhes como a ausência do coxim de madeira na base do peso (que deve ser de 65,0 kg), podem alterar radicalmente os resultados que deverão ser verídicos.</p>		
<p>Endereço da obra: (BSTM DN 1,60 m), estaca 629 do Trecho Tres Pontas - Varginha/MG</p>		
<p>Contratante: Construtora SAGENDRA</p>		
<p>Fone: (35) 9.9979-0685 E-mail: moacirbertos@gmail.com</p>		

 SS Mecânica dos Solos Ltda CREA/MG: 65.265	SONDAGENS, ENSAIOS E FUNDAÇÕES	
	Ordem de Serviço:	Data: 02/03/2017
	Trabalho nº : SS-1018.03/2017	Folha Nº: 02/04

Locação dos furos

PERFIL



TRÊS PONTAS

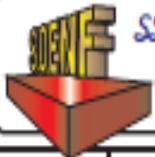
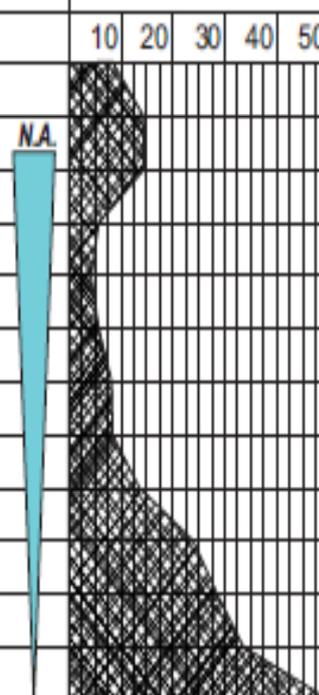
SP-02
● 780,245

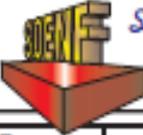
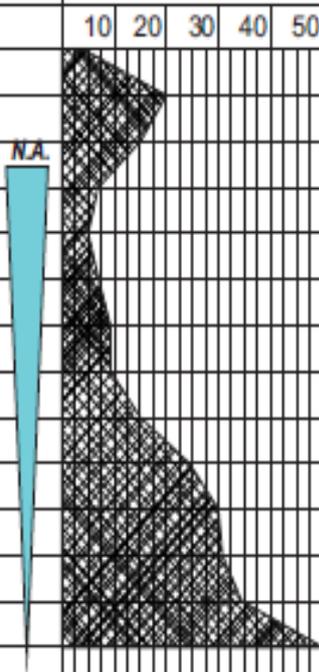


SP-01
● 780,995

VARGINHA

Endereço da obra: (BSTM DN 1,60 m), estaca 629 do Trecho Tres Pontas - Varginha/MG	
Contratante: Construtora SAGENDRA	
Fone: (35) 9.9979-0585 E-mail: moacirbertos@gmail.com	

 SS Mecânica das Solos Ltda CREAMG: 65.265		SONDAGENS, ENSAIOS E FUNDAÇÕES Ordem de Serviço: _____ Data: 02/03/2017 Trabalho nº : SS-1018.03/2017 Folha N°: 03/04											
Furo: SP-01	Cota do RN: Do perfil Cota boca do furo (bf): 780,995	Nível d'água: 778,895 (-2,70)	Limite da sondagem: 13,45 m (3x = ou > que 30 SPT)										
Cota da bf	Camada	1º 15	2º 15	3º 15	η	Kg cm ²	Grau de compacidade	Identificação do material	Gráfico dos golpes (Resistência)				
779,995	1	9	4	4	8	2,000	Rija		10	20	30	40	50
778,995	2	8	7	7	14	3,500	Rija		A				
777,995	3	7	7	7	14	3,500	Rija		N.A.				
776,995	4	5	3	3	6	1,500	Média		B				
775,995	5	2	2	2	4	1,000	Mole		B				
774,995	6	3	3	3	6	1,500	Média		B				
773,995	7	3	4	4	8	2,000	Fofa		C				
772,995	8	4	4	4	8	2,000	Fofa		C				
771,995	9	5	6	7	13	3,250	Médio compacto		C				
770,995	10	12	12	12	24	6,000	Médio compacto		D				
769,995	11	12	13	15	28	7,000	Médio compacto		D				
768,995	12	15	15	18	33	8,250	Compacto		D				
767,995	13	18	20	33	53	13,250	Muito compacto		D				
	14												
	15												
	16												
	17												
	18												
Identificação do material:									η = Índice de resistência a penetração do SPT				
A: 0,00 a 3,20 - Aterro: Argila, marrom. B: 3,20 a 5,80 - Argila plástica e orgânica, cinza e preta. C: 5,80 a 9,00 - Areia média argilosa, cinza claro. D: 9,00 a 13,45 - Silte arenoso, variegado (verde...). Obs: Nessa época do ano: Lençol freático subindo.													
Endereço da obra:													
(BSTM DN 1,60 m), estaca 629 do Trecho Tres Pontas - Varginha/MG													
Contratante:													
Construtora SAGENDRA													
Fone: (35) 9.9979-0585 E-mail: moacirbertos@gmail.com													

 SS Mecânica dos Sols Ltda CREA/MG: 65.265		SONDAGENS, ENSAIOS E FUNDAÇÕES Ordem de Serviço: _____ Data: 02/03/2017 Trabalho nº : SS-1018.03/2017 Folha Nº: 04/04												
Furo: SP-02	Cota do RN: Do perfil Cota boca do furo (bf): 780,245	Nível d'água: 776,745 (-3,50)	Limite da sondagem: 14,45 m (3 x = ou > que 30 SPT)											
Cota da bf	Camada	1º 15	2º 15	3º 15	<i>N</i>	Kg cm2	Grau de compacidade	Identificação do material	Gráfico dos golpes (Resistência)					
779,245	1	2	2	2	4	1,000	Mole		10	20	30	40	50	
778,245	2	9	10	10	20	5,000	Muito rija		A					
777,245	3	7	7	8	15	3,750	Rija							
776,245	4	4	4	3	7	1,750	Média							
775,245	5	3	3	2	5	1,250	Mole		B					
774,245	6	2	3	4	7	1,750	Média							
773,245	7	4	4	5	9	2,250	Fofa							
772,245	8	4	5	4	9	2,250	Fofa		C					
771,245	9	5	7	8	15	3,750	Médio compacto							
770,245	10	10	11	13	24	6,000	Médio compacto							
769,245	11	13	15	15	30	7,500	Compacto							
768,245	12	15	15	16	31	7,750	Compacto		D					
767,245	13	16	16	18	34	8,500	Compacto							
767,245	14	18	21	33	54	13,500	Muito compacto							
	15													
	16													
	17													
	18													
Identificação do material:									<i>N</i> = Índice de resistência a penetração do SPT					
A: 0,00 a 3,85 - Aterro: Argila, marrom. B: 3,85 a 6,20 - Argila plástica e orgânica, cinza e preta. C: 6,20 a 9,20 - Areia média argilosa, cinza claro. D: 9,20 a 14,45 - Silte arenoso, variegado (verde...). Obs: Nessa época do ano: Lençol freático subindo.														
Endereço da obra:														
(BSTM DN 1,60 m), estaca 629 do Trecho Tres Pontas - Varginha/MG														
Contratante:														
Construtora SAGENDRA														
Fone: (35) 9.9979-0585 E-mail: moacirbertos@gmail.com														