

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DE ÁREAS ACADÊMICAS III
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JÉSSICA DAYANE ALVES DE JESUS

**ESTUDO DE CASO: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE
TALVEGUES - BUEIROS NA AVENIDA PROGRESSO, EM SENADOR CANEDO-
GO**

Goiânia, GO
DEZEMBRO/2023

**TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO
NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC – Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Jéssika Dayane Alves de Jesus

Matrícula: 20191011050445

Título do Trabalho: Estudo de Caso: Dispositivos de drenagem de transposição de talvegues

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia, 06/03/2024.

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS

JÉSSIKA DAYANE ALVES DE JESUS

**ESTUDO DE CASO: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE
TALVEGUES - BUEIROS NA AVENIDA PROGRESSO, EM SENADOR CANEDO-GO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Orientador: Prof. Dr. João Carlos de Oliveira

Goiânia, GO

DEZEMBRO/2023

J58e Jesus, Jéssika Dayane Alves de.

Estudo de caso: dispositivos de drenagem de transposição de talvegues – bueiros na Avenida Progresso, em Senador Canedo-GO / Jéssika Dayane Alves de Jesus. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2023.
86f.

Orientação: Prof. Dr. João Carlos de Oliveira.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Bacharelado em Engenharia Civil,
Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Drenagem de rodovias. 2. Bueiros. 3. Hidrologia. I. Oliveira, João Carlos de (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 628.25

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/2.631

Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

JÉSSICA DAYANE ALVES DE JESUS

ESTUDO DE CASO: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES - BUEIROS NA AVENIDA PROGRESSO,
EM SENADOR CANEDO-GO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Dr. João Carlos de Oliveira (orientador), Me. Ricardo Alves Cardoso e Esp. Sandro Borges Vale .

Aprovado em 14 de Dezembro de 2023.

Documento assinado eletronicamente por:

- Sandro Borges Vale, TECNÓLOGO-FORMAÇÃO, em 05/01/2024 09:46:00.
- João Carlos de Oliveira, PROFESSOR ENSINO BÁSICO TECNOLÓGICO, em 26/12/2023 09:25:15.
- Ricardo Alves Cardoso, PROFESSOR ENSINO BÁSICO TECNOLÓGICO, em 18/12/2023 19:54:24.
- Matilde Batista Melo, COORDENADOR(A) DE CURSO - FUC1 - GYN-CCBEC, em 16/12/2023 16:24:16.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/12/2023. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 491598
Código de Autenticação: 00e620282d



DEDICATÓRIA

À minha família, pai, mãe, irmão e ao meu amado noivo.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão por todo o apoio, orientação, aprendizado, empatia e companheirismo que me foram proporcionados ao longo desta jornada de graduação. Não poderia ter alcançado tudo o que alcancei sem a presença de pessoas tão incríveis em minha vida.

Primeiramente, minha família, meu porto seguro, meu alicerce. Obrigada por estarem sempre ao meu lado, por me incentivarem, por compartilharem suas sabedorias e amor incondicional. Vocês são meu apoio inabalável, e sou eternamente grata por cada momento que passamos juntos.

Professor João Carlos, sua orientação e sabedoria foram fundamentais para o meu crescimento e aprendizado. Sua dedicação em compartilhar conhecimento e inspirar seus alunos é inestimável. Saiba que sua influência deixou uma marca indelével em minha jornada acadêmica.

Meus queridos colegas de trabalho, Marcelo Mendes, Eduardo Marçal, Marcelo Augusto e Gabriel Abadio, agradeço por nossa parceria e pela troca constante de conhecimento. Cada um de vocês contribuiu de maneira significativa para o meu crescimento profissional, e sou grata por ter tido a oportunidade de trabalhar ao lado de pessoas tão talentosas e dedicadas.

Aos meus colegas Matteus Mesquita e Emilly, quero agradecer pelo apoio constante e pela empatia demonstrada em todos os momentos. Vocês são verdadeiros amigos e colegas excepcionais, e é uma honra compartilhar essa jornada com vocês.

E, por último, mas definitivamente não menos importante, meu noivo Leonardo Dutra. Seu companheirismo e apoio incondicional são inestimáveis. Você esteve ao meu lado em todos os desafios, celebrando as vitórias e apoiando nos momentos difíceis. Sua presença torna cada dia mais especial, e não posso expressar o quanto sou grata por ter você na minha vida.

Em resumo, sou abençoada por ter uma rede de apoio tão incrível e solidária. Cada um de vocês desempenhou um papel fundamental em minha jornada, e sua presença tornou tudo possível. Obrigada por serem parte da minha vida e por compartilharem esse caminho comigo.

RESUMO

ESTUDO DE CASO: DISPOSITIVOS DE DRENAGEM DE TRANSPOSIÇÃO DE TALVEGUES - BUEIROS NA AVENIDA PROGRESSO, EM SENADOR CANEDO-GO

AUTORA: Jéssika Dayane Alves de Jesus

ORIENTADOR: Dr. João Carlos de Oliveira

O presente trabalho apresenta um estudo de caso da execução de três bueiros presentes na Avenida Progresso, em Senador Canedo - GO. Com o desenvolvimento das áreas metropolitanas, a necessidade de intervir na infraestrutura de transporte entre cidades torna-se cada vez mais crucial devido ao crescimento urbano nas áreas mais desenvolvidas. Essas intervenções envolvem mudanças físicas, como a construção e duplicação de estradas pavimentadas, o que resulta na impermeabilização dos solos, modificações no relevo e cursos d'água. Na construção e na ampliação das vias rurais ou urbanas, é fundamental incluir dispositivos de drenagem nos projetos para garantir o correto escoamento da água pluvial. Vários tipos de dispositivos, como bueiros, pontes, bocas de lobo, meio-fio, sarjetas e galerias de águas pluviais, podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto para desempenhar essa função. Este estudo de caso buscou apresentar um detalhamento do projeto e os resultados do acompanhamento e monitoramento do processo construtivo de três bueiros em um segmento da Avenida Progresso, que liga Goiânia a Senador Canedo, em Goiás. A duplicação desta via atende principalmente às necessidades dos residentes urbanos e dos trabalhadores do setor de construção na região de Senador Canedo, devido ao crescimento de loteamentos e condomínios horizontais no município. Para embasar e aplicar este estudo de caso, foram consultados manuais e normas técnicas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT, bem como obras como as de JABOR (2005) e VERDUM *et al* (2016). Em paralelo foi feito um estudo e levantamento de dados do projeto, a contextualização do local de implementação dos bueiros e o acompanhamento e monitoramento da obra. O projeto apresentou dados coerentes com a metodologia indicada no Manual de Drenagem do DNIT (2018) e apresentou uma execução adequada, seguindo as especificações de serviços existentes para cada solução de projeto, foram realizados controles tecnológicos e topográficos visando garantir a execução em conformidade com o projeto. Para evitar riscos de erosões e assoreamentos, foram feitas adequações do terreno nas bocas a jusante por meio da construção de um gabião e enrocamento de pedras no canal e replantio no terreno onde se localiza as bocas a montante dos bueiros. Na inspeção no local após cerca de um ano dos bueiros construídos, foi identificada uma falta de manutenção nos bueiros, que pode causar entupimento e falha na eficiência do sistema de drenagem proposto.

Palavras-chave: Bueiros. Transposição de Talvegues. Erosão. Estudo de Caso

ABSTRACT

CASE STUDY: DRAINAGE DEVICES FOR TRANSPOSITION OF TALVEGUES - MANHOLES ON AVENIDA PROGRESSO, IN SENADOR CANEDO-GO

AUTORA: Jéssika Dayane Alves de Jesus

ORIENTADOR: João Carlos de Oliveira

This work presents a case study of the construction of three culverts on Avenida Progresso, in Senador Canedo - GO. With the development of metropolitan areas, the need to intervene in the transport infrastructure between cities becomes increasingly crucial due to urban growth in the most developed areas. These interventions involve physical changes, such as the construction and duplication of paved roads, which results in the waterproofing of soils, changes in relief and watercourses. When building and expanding rural or urban roads, it is essential to include drainage devices in the projects to ensure the correct drainage of rainwater. Various types of devices, such as culverts, bridges, storm drains, curbs, gutters and rainwater galleries, can be used alone or together to perform this function. This case study sought to present a detail of the project and the results of monitoring and monitoring the construction process of three culverts in a segment of Avenida Progresso, which connects Goiânia to Senador Canedo, in Goiás. The duplication of this road mainly meets the needs of residents urban workers and workers in the construction sector in the Senador Canedo region, due to the growth of subdivisions and horizontal condominiums in the municipality. To support and apply this case study, manuals and technical standards from the National Department of Transport Infrastructure - DNIT were consulted, as well as works such as those by JABOR (2005) and VERDUM *et al* (2016). In parallel, a study and data collection of the project was carried out, the contextualization of the place where the culverts were implemented and the monitoring and monitoring of the work. The project presented data consistent with the methodology indicated in the DNIT Drainage Manual (2018) and presented adequate execution, following the existing service specifications for each project solution, technological and topographic controls were carried out to ensure execution in accordance with the project. To avoid the risk of erosion and silting, adjustments were made to the land at the downstream mouths by building a gabion and filling rocks in the channel and replanting the land where the mouths upstream of the culverts are located. During the on-site inspection after approximately one year of the constructed culverts, a lack of maintenance in the culverts was identified, which could cause clogging and failure in the efficiency of the proposed drainage system.

Keywords: Manholes. Talvegues transposition. Erosion. Case study

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Estrutura de bueiro.....	22
Figura 2: Esquema de bueiro com caixa coletora.....	23
Figura 3: Formas de bueiros	23
Figura 4: Bueiros tubulares quanto ao número de linhas	24
Figura 5: Exemplo de bueiro esconso.....	25
Figura 6: Bueiros de Greide e Bueiros de Grotta	27
Figura 7: Ciclo Hidrológico.....	28
Figura 8: Elementos Principais de uma Bacia Hidrográfica.....	30
Figura 9: Erosão no Município de São Desidério – BA.....	41
Figura 10: Retentores de sedimentos.....	43
Figura 11: Muro de gabião	44
Figura 12: Enrocamento de pedra.....	45
Figura 13: Campo de espigões em Long Island/NY.....	45
Figura 14: Muro de contenção.....	46
Figura 15: Muro Rip Rap.....	47
Figura 16: Hidrossemeadura.....	47
Figura 17: Técnica de Solo Grampeado para contenção	48
Figura 18: Avenida Progresso	50
Figura 19: Área de estudo selecionada.....	51
Figura 20: Relevo	52
Figura 21: Área de contribuição da região de estudo	53
Figura 22: Precipitação Média Anual - Goiás e Distrito Federal	54
Figura 23: Precipitações mínimas, máximas e médias nos dias de chuvas dos meses no período de 1949 a 2016.....	55
Figura 24: Totais mínimo, máximo e média mensal de precipitação em Goiânia de 1949 a 2016	56
Figura 25: Uso do Solo.....	57
Figura 26: Planta de Compatibilização dos bueiros na Avenida Progresso	60
Figura 27: Perfil Bueiro Simples Celular de Concreto	61
Figura 28: Perfil Bueiro Duplo Tubular metálico	61
Figura 29: Perfil Bueiro de Greide (Simples Tubular de Concreto)	62
Figura 30: Escavação Inicial.....	63

Figura 31: Emboque direto no talude	64
Figura 32: Injeção de solo-cimento com bomba injetora	65
Figura 33: Escavação manual para montagem de anéis metálicos	65
Figura 34: Controle topográfico de execução.....	66
Figura 35: Interferência encontrada na escavação pelo método não destrutivo	67
Figura 36: Início da escavação mecanizada	68
Figura 37: Montagem de tubos metálicos pelo método convencional	68
Figura 38: Controle tecnológico de aterro Fonte: Autor, 2022	68
Figura 39: Execução de revestimento parcial do corpo do bueiro	69
Figura 40: Revestimento do corpo do bueiro acabado	69
Figura 41: Boca a jusante do BDTM com gabião de proteção.....	70
Figura 42: Boca a montante do BDTM	71
Figura 43: Escavação mecanizada de bueiro	72
Figura 44: Estabilização de fundo de bueiro com pedra de mão.....	72
Figura 45: Execução de berço de concreto de BSCC	73
Figura 46: Impermeabilização de juntas entre as peças pré-moldadas de concreto	73
Figura 47 : Execução de lastro de concreto da boca do bueiro	74
Figura 48: Reaterro de BSCC com substituição de material escavado	75
Figura 49: Compactação de aterro.....	76
Figura 50: Enrocamento de pedras e canalização de acesso ao bueiro.....	76
Figura 51: Situação de boca a montante de BSCC após executado	77
Figura 52: Execução de berço de concreto	78
Figura 53: Montagem de tubos do BSTC.....	78
Figura 54: Execução de boca de BSTC	79
Figura 55: Boca de BSTC construída.....	79
Figura 56: Execução de formas de caixa coletora de sarjeta para BSTC	80
Figura 57: Caixa coletora de Sarjeta do BSTC.....	80
Figura 58: Situação da boca do BSTC após executado.....	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificações do tipo de solo de acordo com SCS.....	29
Quadro 2: Coeficiente de Escoamento Superficial - Run-off.....	35
Quadro 3: Classes de relevo segundo inclinação média das vertentes.....	53
Quadro 4: Coeficiente de escoamento (C).....	58
Quadro 5: Resumo de dimensionamento dos bueiros	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recomendação de uso de fórmulas para obtenção do Tempo de Concentração.....	33
Tabela 2 : Equações de Tempo de Concentração.....	34
Tabela 3: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto trabalhando como canal ($ec = D$).....	38
Tabela 4: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros celulares de concreto trabalhando como canal ($ec = d$)	38
Tabela 5: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros circulares metálicos corrugados trabalhando como canal ($ec = d$).....	39
Tabela 6: Resumo das Precipitações	56

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	Objetivo Geral	16
1.2	Objetivos Específicos	16
1.3	Escopo do trabalho	17
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	A ação da água sobre os pavimentos	18
2.2	Drenagem de transposição de talvegues	21
2.2.1	Bueiros	22
2.3	Estudos Hidrológicos	27
2.3.1	Bacias Hidrográficas	28
2.3.2	Pluviometria	30
2.3.3	Intensidade de Precipitação	32
2.3.4	Tempo de Concentração	33
2.3.5	Escoamento Superficial	34
2.3.6	Vazões das Bacias	35
2.3.7	Dimensionamento de bueiros como canais	36
2.4	Problemas de erosões	40
3	METODOLOGIA	49
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS	50
4.1	Localização da área do Estudo de Caso	50
4.2	Dados Hidrológicos da Área de Estudo	51
4.2.1	Relevo e Hidrografia	52
4.2.2	Pluviometria	54
4.2.3	Solos	57
4.2.4	Vegetação e uso dos solos	57
4.3	Projeto de Drenagem da Área de Estudo	58

4.3.1	Perfil do Bueiro Simples Celular de Concreto	61
4.3.2	Perfil do Bueiro Duplo Tubular Metálico.....	61
4.3.3	Perfil do Bueiro Simples Tubular de Concreto	62
4.4	Acompanhamento e Monitoramento do Processo Executivo.....	62
4.4.1	Bueiro Duplo Tubular Metálico	62
4.4.2	Bueiro Simples Celular de Concreto	71
4.4.3	Bueiro Simples Tubular de Concreto	77
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS.....	82
	REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento de regiões metropolitanas, a necessidade de adaptação na infraestrutura de transportes entre as cidades torna-se cada vez mais necessária diante do crescimento urbano em cidades mais desenvolvidas.

Essas adaptações ocorrem com a expansão das vias interligando as cidades, especialmente nas regiões metropolitanas, provocando alterações físicas nas áreas construídas, como a impermeabilização dos solos, alterações no relevo e nos cursos d'água.

Tanto na construção quanto na expansão de uma via, é importante a inclusão de dispositivos de drenagem nos projetos a serem implementados, visando o escoamento adequado da água para os pontos mais baixos do relevo, denominados exutórios. Existem diversos tipos de dispositivos que, combinados ou não, podem realizar essa função, como por exemplo, meio-fio, sarjetas, bocas de lobo, pontes, bueiros e galerias de águas pluviais.

Os bueiros de transposição de talwegues em vias urbanas ou rurais são estruturas projetadas para permitir que a água flua de um lado para outro da via, acompanhando o curso natural do terreno. Eles desempenham um papel importante no gerenciamento de águas pluviais, evitando enchentes e ajudando a preservar a integridade das vias.

Esses bueiros geralmente são instalados em locais onde o terreno é inclinado, permitindo que a água da chuva desça naturalmente pelo talwegue. Os bueiros facilitam a passagem da água sob a via, garantindo que ela não se acumule e cause danos.

A escolha adequada do tipo de bueiro, seu dimensionamento correto e a manutenção regular são aspectos essenciais para garantir o bom funcionamento desse sistema de drenagem. Eles são uma parte vital da infraestrutura urbana, contribuindo para a sustentabilidade e a segurança das cidades.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo apresentar um estudo de caso referente ao projeto de construção de três bueiros em parte da Avenida Progresso, que interliga o município de Goiânia ao município de Senador Canedo, em Goiás.

1.2 Objetivos Específicos

Discorrer sobre os sistemas de drenagem de transposição de talwegues com base na literatura e normas existentes.

Contextualizar o local onde foram projetados e construídos os bueiros.

Apresentar parte do projeto, as soluções adotadas e os dados utilizados na elaboração.

Realizar o acompanhamento e monitoramento do processo executivo da obra, identificando e abordando conformidades e não conformidades e possíveis adequações construtivas.

Analisar de forma qualitativa o desempenho da obra após a sua execução.

1.3 Escopo do trabalho

No capítulo 1 - Introdução, é contextualizado o tema, apresentados os objetivos propostos e o escopo do trabalho.

No capítulo 2 – Referencial Teórico, é apresentado um estudo sobre os sistemas de drenagem de rodovias, enfatizando os dispositivos de drenagem superficial e de transposição de talvegues, tais como bueiros celulares de concreto, bueiros tubulares metálicos e bueiros de greide. Em seguida, é apresentada uma revisão sobre os estudos hidrológicos envolvidos no dimensionamento de um bueiro a fim de verificar, posteriormente se o dimensionamento dos bueiros atende às especificações teóricas. Também neste capítulo, são apresentados estudos sobre os problemas que podem ocorrer em obras de dispositivos de drenagem de transposição de talvegues.

No capítulo 3, é apresentada a metodologia do trabalho, onde são apresentados os critérios para escolha de materiais para a revisão da literatura e os procedimentos tomados para alcance dos objetivos geral e específicos deste trabalho.

No capítulo 4, são apresentados e analisados os dados obtidos, onde é feita a caracterização da localização da área de estudo, bem como sua bacia de contribuição e apresentação dos projetos executivos dos bueiros.

No capítulo 5, são apresentadas as conclusões do trabalho, considerando todos os aspectos apresentados associando aos objetivos propostos.

Ao final, são apresentadas as referências utilizadas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A ação da água sobre os pavimentos

A principal fonte de água que atinge os pavimentos é a chuva, que ocorre quando a umidade presente na atmosfera se condensa e forma gotas de água que caem em direção à superfície terrestre. Porém a água que atinge os pavimentos também provém do fluxo das águas superficiais dos terrenos adjacentes, da inundação dos cursos de água próximos e da infiltração através do solo (PEREIRA, 1959).

Qualquer que seja sua origem, a ação da água sobre os pavimentos é sempre prejudicial. A presença de água pode causar vários efeitos negativos na infraestrutura das vias. De acordo com VESSELY, *et al* (2019), alguns dos principais efeitos incluem:

- a) Deterioração do pavimento: A água pode causar danos ao pavimento das estradas. A infiltração de água em rachaduras e fissuras existentes no pavimento pode levar à expansão dessas falhas, resultando em buracos e deformações. A água também pode enfraquecer as camadas do pavimento, levando à sua deterioração prematura.
- b) Erosão dos materiais: A água em excesso pode causar a erosão dos materiais que compõem as estradas, como o solo ao redor da estrutura ou os materiais utilizados na construção das camadas do pavimento. A erosão pode levar à instabilidade e ao colapso de trechos da estrada.
- c) Deslizamentos de terra: Em áreas com encostas próximas às estradas, a presença de água pode aumentar o risco de deslizamentos de terra. A água em excesso enfraquece o solo, diminuindo a sua capacidade de suportar a estrutura da encosta. Isso pode resultar em deslizamentos de terra que afetam a estabilidade das estradas.
- d) Danos a pontes e drenagem: A água em excesso pode causar danos às pontes, especialmente quando os níveis dos rios ou córregos próximos às estradas aumentam significativamente. Além disso, a sobrecarga de água nas redes de drenagem pode resultar em obstruções, levando ao acúmulo de água nas estradas e ao comprometimento da sua drenagem eficiente.
- e) Redução da capacidade estrutural: A presença constante de água pode reduzir a capacidade estrutural das estradas. A água pode enfraquecer as camadas do pavimento e o solo subjacente, comprometendo a capacidade da estrada de suportar o tráfego e aumentando a probabilidade de falhas estruturais.

É importante ressaltar que os efeitos da água na infraestrutura das estradas podem variar dependendo das condições locais, da qualidade da construção e manutenção das vias, e da quantidade e frequência de exposição à água.

A construção e manutenção adequadas dos equipamentos de drenagem dos pavimentos são de extrema importância para garantir sua durabilidade e bom desempenho. Esses sistemas de drenagem desempenham um papel fundamental na gestão das águas pluviais, evitando o acúmulo de água nas estradas e minimizando os danos causados por ela.

De acordo com o Manual de Drenagem do DNIT (2018) alguns dos principais pontos de importância na construção e manutenção adequadas dos equipamentos de drenagem dos pavimentos são:

- a) **Prevenção de danos estruturais:** A água em excesso pode causar danos à estrutura das estradas, comprometendo a integridade e a durabilidade dos pavimentos. Sistemas de drenagem bem projetados e mantidos corretamente evitam o acúmulo de água, reduzindo o risco de erosão, desgaste prematuro e falhas na estrutura das vias.
- b) **Segurança viária:** O acúmulo de água nas estradas pode reduzir a aderência dos pneus dos veículos, aumentando o risco de acidentes, especialmente em condições de chuva intensa. Uma drenagem adequada dos pavimentos minimiza a ocorrência de poças d'água e a aquaplanagem, melhorando a segurança viária.
- c) **Preservação do meio ambiente:** A gestão adequada das águas pluviais contribui para a preservação do meio ambiente. Sistemas de drenagem eficientes evitam o escoamento descontrolado da água pluvial, reduzindo o risco de poluição dos corpos d'água locais por sedimentos, contaminantes e substâncias químicas presentes nas vias.
- d) **Redução de custos de manutenção:** A falta de uma drenagem adequada pode levar a danos significativos nas estradas, resultando em custos elevados de manutenção. A construção e manutenção adequadas dos equipamentos de drenagem dos pavimentos ajudam a reduzir os gastos com reparos e prolongam a vida útil das estradas.

Existem quatro tipos principais de drenagem de rodovias: drenagem superficial, drenagem subterrânea ou profunda, drenagem longitudinal e drenagem transversal, que abrange a transposição de talwegues. O manual de drenagem do DNIT (2018), diz que esses dispositivos desempenham um papel importante na gestão das águas pluviais e quando aliados a uma boa execução e manutenção das estruturas, garantem a segurança, a durabilidade e o conforto aos usuários das vias.

A drenagem superficial refere-se ao sistema de coleta e escoamento das águas pluviais que caem diretamente na superfície das estradas. Isso inclui a captação de água através de meio fios, sarjetas, bocas de lobo e canaletas, que direcionam a água para dispositivos de drenagem, como bueiros e galerias pluviais. A drenagem superficial visa evitar o acúmulo de água nas estradas, minimizando os riscos de aquaplanagem e danos ao pavimento (DNIT, 2018).

A drenagem subterrânea refere-se ao sistema de coleta e transporte das águas pluviais infiltradas no solo adjacente às estradas. Esse tipo de drenagem é realizado por meio da instalação de tubos de drenagem, chamados de drenos subterrâneos, que captam a água do solo e a direcionam para fora da área da estrada. A drenagem subterrânea é essencial para evitar a saturação do solo, prevenindo problemas como a erosão e o enfraquecimento do pavimento (SILVA *et al*, 2017).

A drenagem longitudinal refere-se ao sistema de coleta e escoamento das águas pluviais ao longo do comprimento das estradas. Isso é realizado por meio da inclinação do pavimento em direção a canaletas ou sarjetas, que coletam a água e a direcionam para dispositivos de drenagem adequados. A drenagem longitudinal é importante para evitar o acúmulo de água na superfície da estrada, garantindo uma via mais segura e preservando a sua integridade (DNIT, 2018).

A drenagem transversal refere-se ao sistema de coleta e escoamento das águas pluviais que cruzam a estrada de forma perpendicular. Esse tipo de drenagem é realizado por meio da instalação de dispositivos, como bueiros e galerias, que permitem o escoamento da água de um lado da estrada para o outro. A drenagem transversal é fundamental para evitar o acúmulo de água e reduzir os riscos de inundação (DNIT, 2018).

2.2 Drenagem de transposição de talvegues

A drenagem de transposição de talvegues refere-se ao sistema de coleta e escoamento das águas pluviais que seguem o fluxo natural dos cursos d'água, atravessando as estradas (DNIT, 2018). Talvegue é o termo usado para descrever a linha de fluxo mais baixa em um canal ou vale. No Brasil, a drenagem de transposição de talvegues é regulamentada pelas normas e diretrizes técnicas vigentes, que estabelecem os critérios e procedimentos para a adequada transposição de águas em estradas.

Na transposição de talvegues, as águas provenientes de uma bacia hidrográfica, devido a aspectos hidrológicos e ao relevo precisam atravessar as estradas sem comprometer sua integridade (DNIT, 2018). Para atingir esse objetivo, são utilizadas técnicas como a instalação de bueiros sob os aterros ou a construção de pontilhões ou pontes que transpõem os cursos d'água. Essas estruturas são projetadas para permitir a passagem da água pela rodovia sem comprometer a estabilidade dela.

Segundo o DNIT (2018), em termos hidráulicos, os bueiros podem ser dimensionados como canais, vertedouros ou orifícios, dependendo das condições da obra. A escolha do tipo de dimensionamento adequado depende da viabilidade de permitir ou não a existência de carga hidráulica à montante da estrutura. Isso é importante para evitar o transbordamento do curso d'água, que poderia causar danos aos aterros, pavimentos e causar inundação à montante do bueiro.

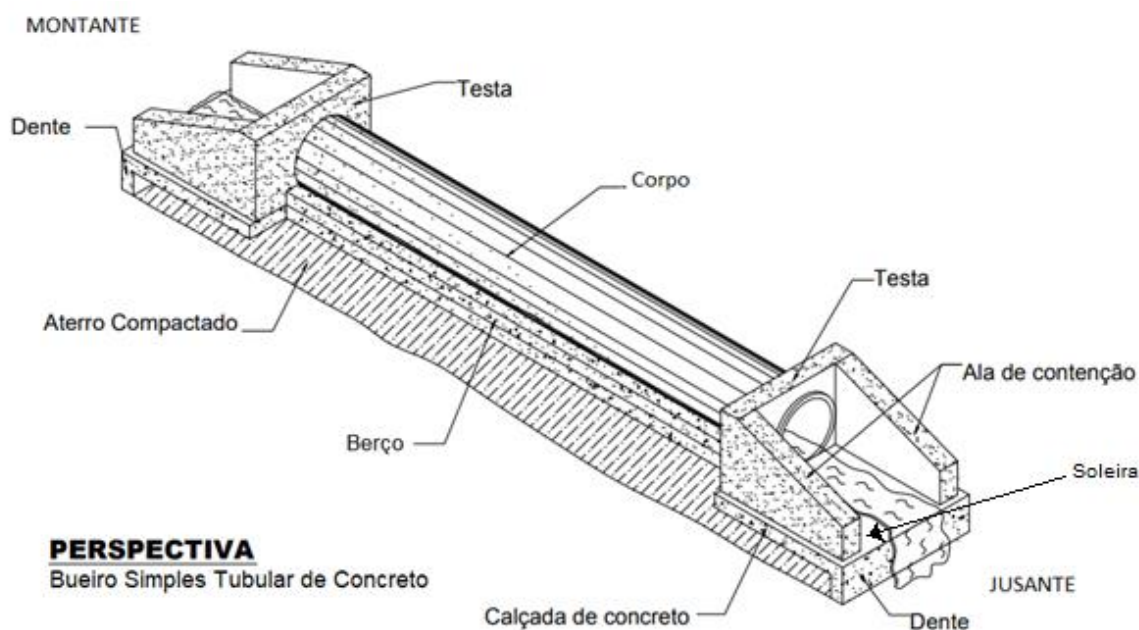
Ainda de acordo com o DNIT (2018), caso não seja possível permitir a presença de carga hidráulica à montante, o bueiro deve ser dimensionado para trabalhar como um canal livre, permitindo o escoamento adequado das águas. Caso a elevação do nível d'água a montante não traga nenhum risco ao corpo estradal, ou a terceiros, o bueiro pode ser dimensionado como orifício, respeitando-se, evidentemente, a cota do nível d'água máxima a montante.

Os bueiros dimensionados como vertedouros desempenham uma grande função no escoamento da água acumulada nas várzeas extensas ou em terrenos alagadiços. Ou seja, são mais utilizados na microdrenagem. De acordo com o Manual de Drenagem do DNIT (2018), “Para alturas d'água até a altura da abertura, a boca-de-lobo funciona como vertedor”.

2.2.1 Bueiros

Os bueiros são projetados para permitir o fluxo contínuo da água através de canais subterrâneos, evitando o acúmulo de água na superfície da estrada. O dimensionamento dos bueiros leva em consideração vários fatores, como as características hidrológicas da região, as condições do local, a vazão esperada e a capacidade de escoamento necessária. Eles são compostos por bocas e corpo (JABÔR, 2017). Corpo é a parte situada sob cortes e aterros e as bocas são as extremidades do bueiro, que captam e lançam a água à montante e à jusante, respectivamente. As bocas dos bueiros são compostas por soleira, muro de testa e alas, conforme a Figura 1.

Figura 1: Estrutura de bueiro simples tubular de concreto

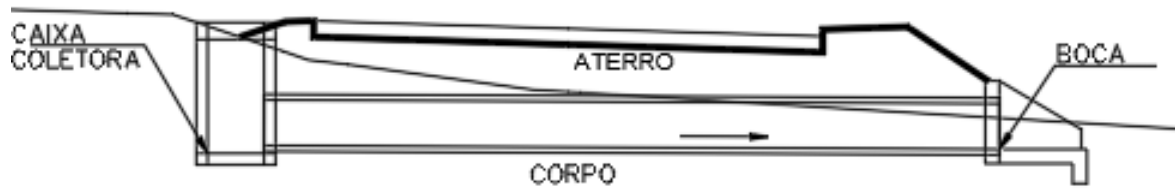


Fonte: adaptado de Secretaria Municipal de Planejamento e do Meio-Ambiente - SEPLAM, 2017.

Quando o nível da entrada da água na boca de montante está abaixo da superfície do terreno natural, é necessário substituir essa boca por uma caixa coletora. A caixa coletora é uma estrutura projetada para coletar a água proveniente do terreno e direcioná-la para o bueiro ou sistema de drenagem adequado.

Essa substituição é necessária para garantir que a água seja captada eficientemente, mesmo quando o nível da entrada está abaixo do terreno circundante. A caixa coletora permite a captação e o redirecionamento adequado da água para o sistema de drenagem, evitando o acúmulo e possíveis danos às estruturas da rodovia. Na Figura 2, é possível verificar o esquema de uma estrutura de bueiro com caixa coletora.

Figura 2: Esquema de bueiro com caixa coletora

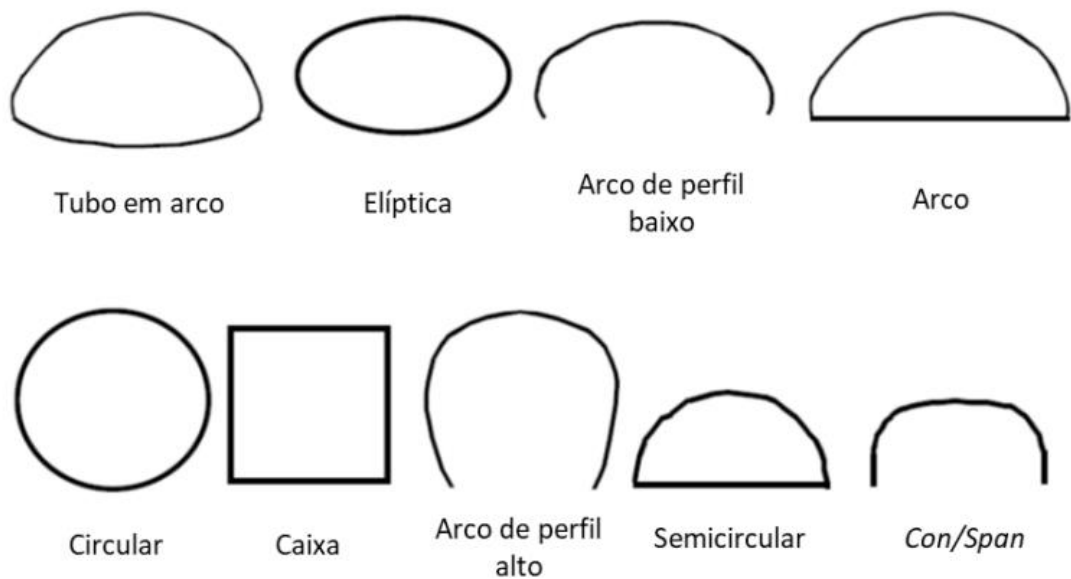


Fonte: Adaptado de PEREIRA et al (2009)

Os bueiros podem ser classificados quanto:

- a) à forma de sua seção, que podem ser tubulares, celulares, especial, elipses ou ovóides (Figura 3);

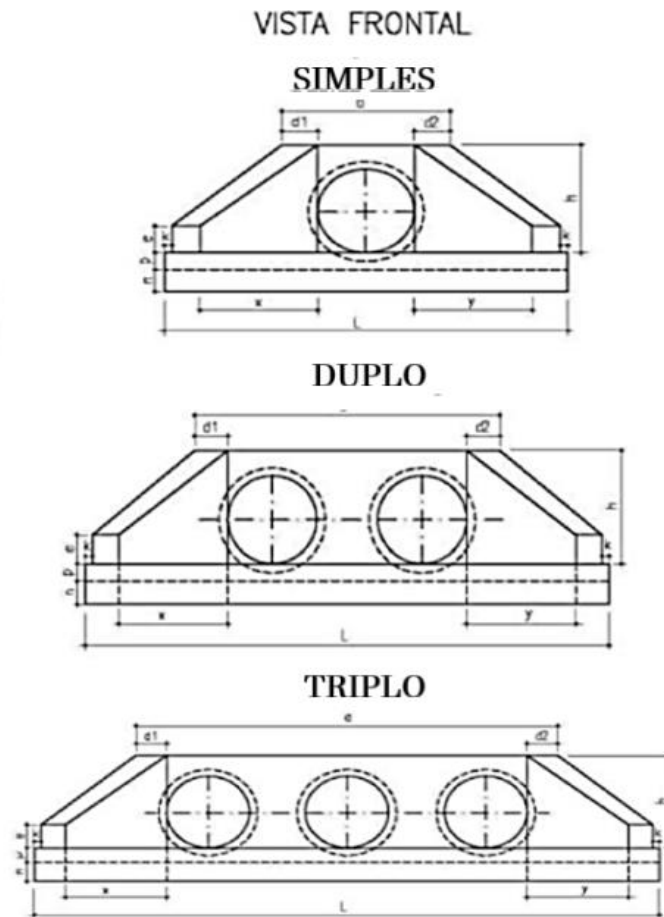
Figura 3: Formas de bueiros



Fonte: NASCIMENTO, 2019

- b) ao número de linhas, que podem ser simples quando houver só uma linha de tubos, duplos ou triplos, quando houver 2 ou 3 linhas de tubos ou células, respectivamente como ilustra a Figura 4.

Figura 4: Bueiros tubulares quanto ao número de linhas

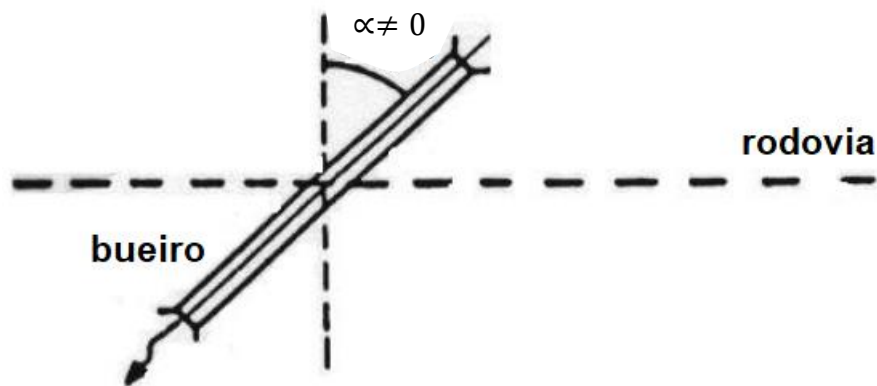


Fonte: Adaptado de DNIT (2018)

c) aos materiais com os quais são construídos, podendo ser concreto simples ou armado, chapa metálica corrugada ou polietileno de alta densidade, PEAD ou PRFV – plástico reforçado de fibra de vidro, sendo que nas bocas, alas e caixas coletoras usa-se alvenaria de pedra argamassada, com recobrimento de argamassa de cimento e areia, ou blocos de concreto de cimento, além de concreto pré-moldado.

Finalmente, os bueiros podem ser classificados quanto à sua esconsidade, definida pelo ângulo entre o eixo longitudinal e a normal do eixo da rodovia. Podem ser normais, quando o eixo do bueiro coincide com a normal do eixo da rodovia ou esconso, quando o eixo do bueiro faz um ângulo diferente de zero com a normal do eixo da rodovia, conforme exemplificado na Figura 5:

Figura 5: Exemplo de bueiro esconso



Fonte: Adaptado de PEREIRA *et al* (2009)

Os bueiros devem ser localizados de acordo com as seguintes diretrizes:

- a) Sob os aterros: Em geral, o eixo do bueiro deve ser posicionado o mais próximo possível da linha do talvegue, que é o ponto mais baixo do terreno onde a água naturalmente se concentra. Caso não seja possível seguir essa diretriz, é necessário buscar uma localização em declive que afaste o eixo do bueiro o mínimo possível da normal ao eixo da rodovia. É importante tomar precauções para evitar deslocamentos dos canais na entrada e saída de água do bueiro.
- b) Nas bocas dos cortes: Quando o volume de água dos dispositivos de drenagem, mesmo que previstos no projeto, for suficientemente grande para causar erosão no terreno natural nas bocas dos cortes, é necessário posicionar os bueiros nessas áreas. Isso é importante para evitar danos ao terreno e manter a estabilidade da estrutura.
- c) Nos cortes: Se houver a interceptação de uma ravina ou se a capacidade de escoamento das sarjetas existentes for excedida, é necessário instalar bueiros nos cortes. Essa medida é adotada para garantir o adequado escoamento da água e evitar danos à estrutura e ao terreno circundante.

Essas orientações são estabelecidas no Manual de Drenagem de Rodovias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), em vigência desde o ano de 2018 e devem ser seguidas para garantir a eficiência e a segurança dos sistemas de drenagem nas rodovias.

No que diz respeito ao processo construtivo dos bueiros, existem duas formas de execução: o Método Convencional e o Método Não Destrutivo. O Método Não Destrutivo consiste na instalação de um bueiro sem a necessidade de abrir o corpo do aterro, evitando assim transtornos ao tráfego. Esse método é recomendado em rodovias com alto volume de tráfego, regiões onde

o aterro é superior a 6,00 m, áreas urbanas para implantação de redes pluviais, entre outros cenários (JABÔR, 2017).

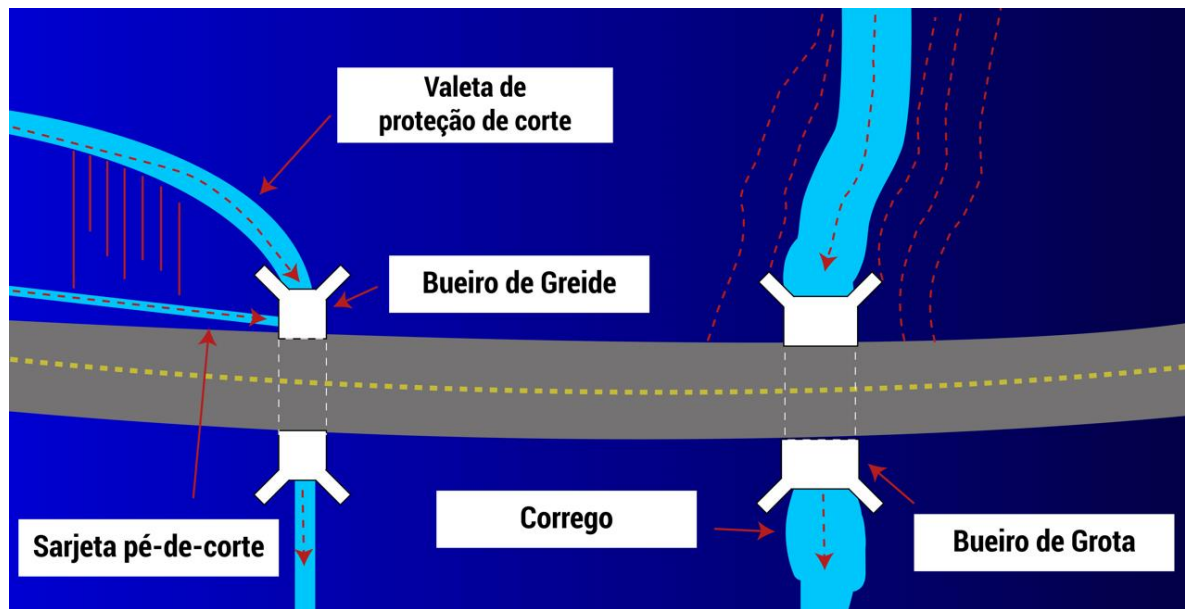
De acordo com a Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva - ABRATT (2007) o Método Não Destrutivo é utilizado na construção de novas redes, na reabilitação e recuperação de redes existentes, sem interrupção do tráfego e sem interferências significativas no entorno da obra. Esse método é especialmente benéfico em situações em que é necessário minimizar o impacto nas operações rodoviárias e nas áreas urbanas, garantindo a continuidade do fluxo de veículos e reduzindo os transtornos causados pela construção.

Quanto à sua localização, os bueiros podem ser denominados de bueiros de greide ou de grotas.

Os bueiros de greide são estruturas projetadas para permitir a transposição de fluxos de água coletados por dispositivos de drenagem superficial, como sarjetas. A entrada de água nesses bueiros é normalmente feita por meio de caixas coletoras. Eles são utilizados para coletar os fluxos provenientes de talvegues naturais ou ravinas interceptadas pela rodovia em segmentos de corte. Esses bueiros são fundamentais para garantir o adequado escoamento da água e prevenir danos às estruturas da rodovia (ROCHA, 2013).

Já os bueiros de grotas são instalados no fundo dos talvegues e são utilizados principalmente em cursos d'água permanentes e de maior porte. Essas estruturas são projetadas para conduzir as águas provenientes de córregos e canais já existentes. Os bueiros de grotas são empregados quando há a necessidade de transpor cursos d'água significativos, proporcionando a passagem segura da água sob a rodovia (ROCHA, 2013). A Figura 6 ilustra a diferença entre os dois tipos de bueiros.

Figura 6: Bueiros de Greide e Bueiros de Grotá



Fonte: Adaptado de ROCHA, 2013.

2.3 Estudos Hidrológicos

De acordo com o DNIT (2005) “os estudos hidrológicos visam primordialmente o dimensionamento dos dispositivos capazes de conduzir satisfatoriamente as vazões afluentes, os métodos usuais empregados buscam a quantificação das descargas através de procedimentos matemáticos.”

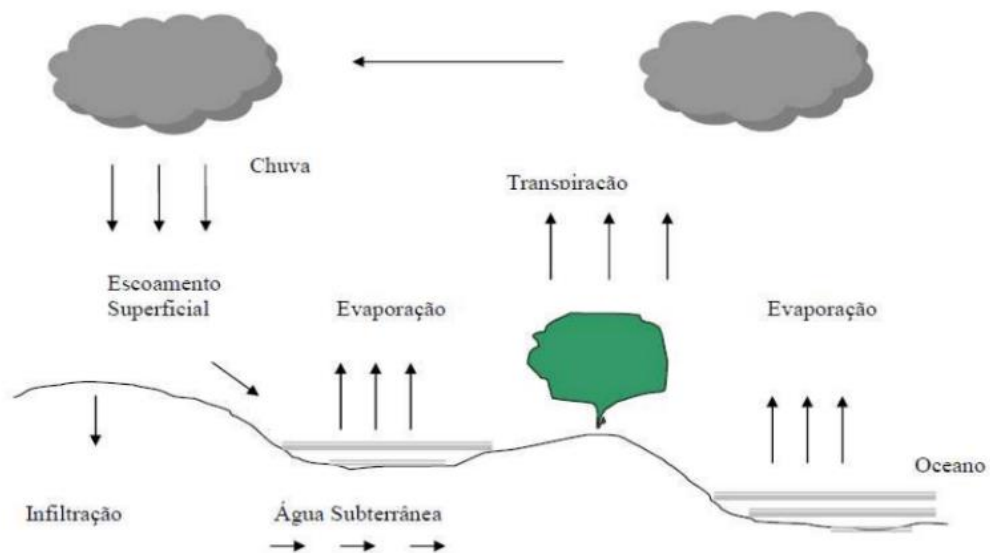
JABOR (2013) apresenta o ciclo hidrológico em quatro etapas:

- Precipitações atmosféricas: chuva, granizo, neve, orvalho.
- Escoamentos Subterrâneos: infiltração, águas subterrâneas.
- Escoamentos Superficiais: córregos, rio e lagos.
- Evaporação: na superfície das águas e no solo transpiração.

No estudo da drenagem de rodovias, é essencial entender o ciclo hidrológico, entendido como o movimento contínuo das águas presentes na atmosfera e nos continentes, por isso o seu estudo é aprofundado e considerado uma das bases que sustenta o trabalho de drenagem (JABOR, 2013).

O estudo do Ciclo Hidrológico define para cada caso a parcela de precipitação que escoar sobre o solo. Na Figura 07, é possível visualizar um esquema representativo do Ciclo Hidrológico.

Figura 7: Ciclo Hidrológico



Fonte: JABOR, 2013

Quando ocorre uma precipitação pluviométrica que excede a capacidade de absorção do solo, a água escoa pela superfície, o que pode resultar em diversos problemas para a sociedade. Essa situação pode causar transtornos significativos. Tanto as águas superficiais quanto as águas subterrâneas podem afetar e prejudicar obras em andamento e rodovias já concluídas. É importante tomar medidas adequadas de drenagem e controle de águas pluviais para evitar danos e garantir a segurança das estruturas (JABOR, 2013).

2.3.1 Bacias Hidrográficas

Considera-se por exutório o ponto de menor altitude dentro de uma bacia de contribuição, para onde todas as águas provenientes das precipitações fluem em função da topografia. É o local onde as águas coletadas na bacia se reúnem e escoam para fora da área, geralmente formando um rio principal (DOTTO, 2015).

A caracterização de uma bacia hidrográfica envolve a análise de diferentes elementos e características que compõem a área de drenagem como a vegetação que a compõe. Dentre os tipos mais comuns de cobertura vegetal DOTTO (2015) cita:

- Mata ou bosque;
- Pasto;
- Terreno Cultivado;
- Terreno não cultivado ou com pouca vegetação;

- Área Urbana.

Outro fator para caracterização de uma bacia hidrográfica é o tipo de solo. Existem muitas classificações do tipo de solo, mas para fins hidrológicos, a mais simples é a determinada pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS), que classifica os solos de acordo com sua taxa de infiltração (Sartori, RBRH, 2005), que considera quatro tipos de solo conforme apresentado no Quadro 1:

Quadro 1: Classificações do tipo de solo de acordo com SCS

Classificação	Descrição	Taxa de infiltração (mm/h)
Grupo A	- Baixo potencial de escoamento - Alta taxa de infiltração uniforme quando saturados - Consiste principalmente de areias ou cascalhos	> 7,62
Grupo B	- Moderado potencial de escoamento - Moderada taxa de infiltração uniforme quando saturados - Solos arenosos com textura moderadamente fina a moderadamente grossa;	3,81-7,62
Grupo C	- Baixa taxa de infiltração quando saturados - Solos argilosos com textura moderadamente fina.	1,27-3,81
Grupo D	- Alto potencial de escoamento - Baixa taxa de infiltração quando saturados - Solos argilosos com alto potencial de expansão.	< 1,27

Fonte: Adaptado de SARTORI, 2005

A topografia desempenha um papel fundamental na definição dos limites e na caracterização da bacia hidrográfica e na delimitação da bacia de contribuição. Com a utilização de cartas ou equipamentos topográficos, são identificados os pontos de maior altitude que formam as divisores de água, também conhecidas como cristas ou divisórias. Essas cristas delimitam as bordas da bacia, definindo o limite até onde as águas das precipitações irão escoar para o exutório (TUCCI, 2012).

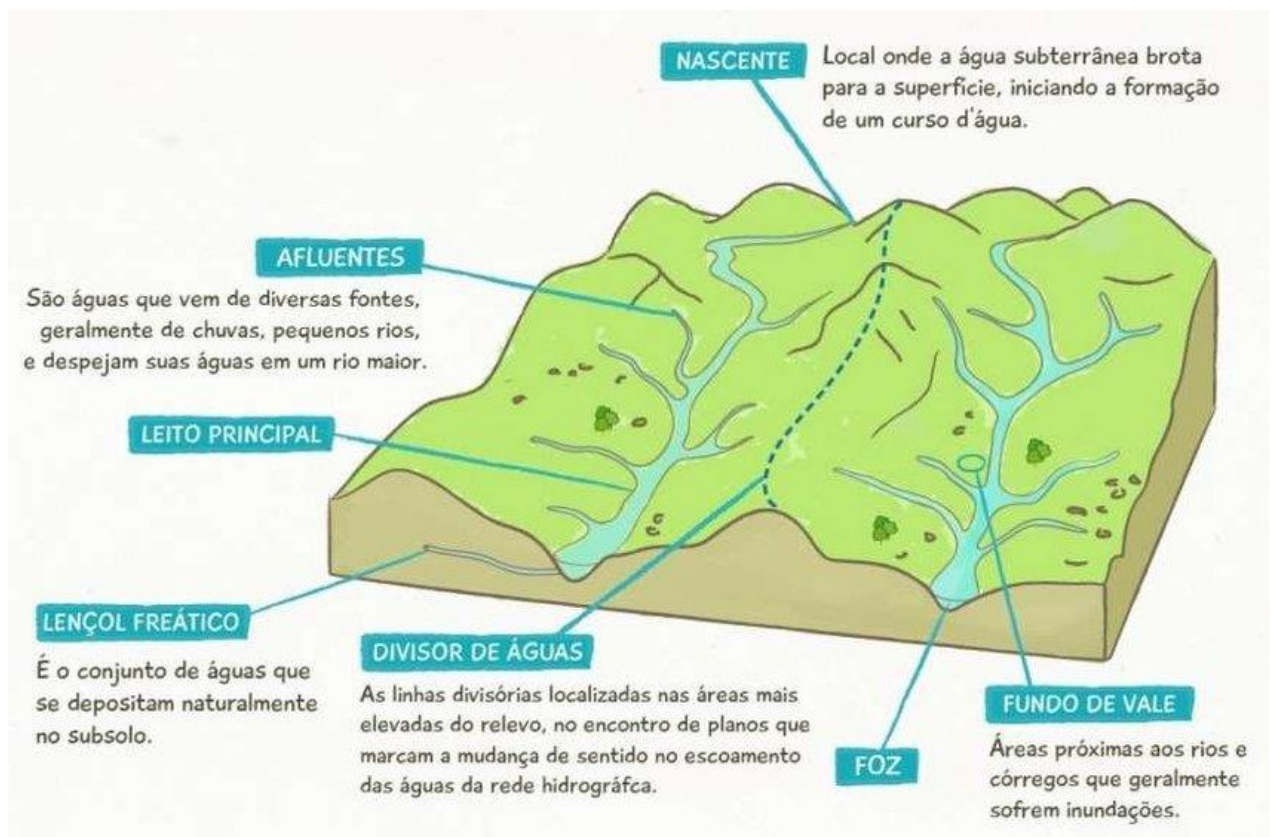
De acordo com Tucci (2012), os pontos de menor altitude da bacia hidrográfica interligam-se formando o curso d'água principal. Esses pontos são chamados de vertentes ou encostas, por meio delas a água da bacia é drenada em direção ao rio principal.

Além dos divisores de águas, das vertentes, do rio principal e do exutório uma bacia hidrográfica possui outros componentes, que são:

- Fundos de vale: Áreas adjacentes aos rios ou ribeiros e que geralmente sofrem inundações;
- Nascente: ponto onde as águas subterrâneas atingem a superfície formando um pequeno corpo de água ou córrego;
- Áreas de descarga: pontos em que a água emerge para a superfície do terreno;
- Recarga: áreas onde a água infiltra para o interior do solo recarregando o lençol freático.

Na Figura 08, é possível visualizar um esquema ilustrando os componentes de uma bacia hidrográfica.

Figura 8: Elementos Principais de uma Bacia Hidrográfica



Fonte: Adaptado de SANTOS (2018)

2.3.2 Pluviometria

Segundo Jabor (2020), “pluviometria é o ramo da climatologia que se ocupa da distribuição das chuvas em diferentes épocas e regiões. A chuva é a precipitação da água das nuvens.”

É comum considerar valores extremos no dimensionamento das obras de drenagem. Isso permite a garantia, segurança e viabilidade econômica da obra.

Entretanto, em engenharia, nem sempre é viável construir uma estrutura capaz de escoar qualquer vazão possível de ocorrer, pois isso resultaria em obras excessivamente dimensionadas e custosas. Por isso, é necessário que exista um equilíbrio entre a viabilidade econômica e a segurança da obra, neste caso através de considerações de ordem econômica e estudos dos riscos, assume-se que a estrutura tenha uma vida útil e presume-se que ao longo desse período a obra tenha sua eficiência atendida (JABOR, 2020).

Para isso analisam-se estatisticamente as observações realizadas nos postos hidrométricos, verificando-se com que frequência elas assumiram dada magnitude. Em seguida, podem-se avaliar a probabilidade teórica de ocorrência das mesmas. Existem dois métodos apresentados nas Equações 1 e 2 para definir a frequência com que foi igualado ou superado um evento da ordem de magnitude (m), são eles:

Método da Califórnia:

$$F = \frac{m}{n} \quad (1)$$

Método de Kimbal:

$$F = \frac{m}{n+1} \quad (2)$$

Em ambas as equações, tem-se que:

F: Frequência dos eventos de precipitação

m: magnitude do evento

n: número de anos de observação

Considerando como uma boa estimativa da probabilidade teórica (P) e definindo o tempo de recorrência, ou tempo de retorno como sendo o intervalo médio de anos em que pode ocorrer ou ser superado um dado evento, tem-se a seguinte relação nas Equações 3 e 4:

$$T_r = \frac{1}{F} \quad (3)$$

De maneira geral,

$$T_r = \frac{1}{P} \quad (4)$$

Onde F é a frequência e T_r é o tempo de recorrência.

O Tempo de Recorrência recomendado por órgãos rodoviários para projeto depende do tipo de drenagem a ser implantada e a depender da norma vigente de cada estado, essa recomendação pode mudar, tem-se que:

1. DNIT

- Drenagem superficial - 5 anos a 10 anos
- Drenagem profunda - 1 ano
- Drenagem grota, Bueiros tubulares - 10 anos (como canal) e 25 anos (como orifício)
- Drenagem grota, Bueiros Celulares (Galerias) - 25 anos (como canal) e 50 anos (como orifício)
- Pontilhão - 50 anos
- Ponte - 100 anos

2. GOINFRA - GO

- Bueiros de grota e drenagem superficial - 5 anos
- Bueiros em bacias até 1 km² - 10 anos (como orifício - 25 anos)
- Bueiros em bacias entre 1 km² e 5 km² - 25 anos (como orifício - 50 anos)
- Bueiros ou galerias em que 5 km² < A < 10 km² - 50 anos
- Pontes até 100 m - 50 anos
- Pontes maiores que 100 m - 100 anos

2.3.3 Intensidade de Precipitação

A intensidade de precipitação é a quantidade de chuva (mm) por unidade de tempo (horas). Essa intensidade pode ser medida utilizando um pluviógrafo, calculada através de equações IDF (curva intensidade-duração-frequência) conforme demonstrado na Equação 5, ou adotada de acordo com a localidade do projeto conforme NBR 10844:1989.

$$i = \frac{K * T^m}{(t + t_0)^n} \quad (5)$$

Onde:

i= intensidade de precipitação (mm/h);

T= período de retorno (anos);

t = duração da chuva (minutos);

K , t_0 , m e n = parâmetros de ajuste.

“Ressalta-se que, normalmente, algumas localidades já possuem a equação IDF com os parâmetros de ajuste. Neste caso, pode-se optar por referenciar a bibliografia” (KOERICH, 2022).

2.3.4 Tempo de Concentração

O tempo de concentração é um parâmetro hidrológico que representa o tempo necessário para que uma gota d'água percorra superficialmente a bacia hidrográfica, desde o ponto mais distante até o ponto de saída, conhecido como exutório. Esse tempo de percurso é considerado invariável, ou seja, não varia de acordo com a intensidade da chuva ou outras condições hidrológicas. Ele é utilizado para estimar a resposta hidrológica da bacia, auxiliando no dimensionamento de obras de drenagem e controle de enchentes. (McCuen *et al*, 1984).

SILVEIRA (2005), em seus estudos, avaliou o desempenho de 23 fórmulas de obtenção dos tempos de concentração e, em suas conclusões chegou-se ao resultado de recomendações descritos na Tabela 1. Ainda orienta que “a ordem de preferência é indicada pelo número que antecede a letra R (bacias rurais) ou U (bacias urbanas).”

Tabela 1 - Recomendação de uso de fórmulas para obtenção do Tempo de Concentração

Fórmulas	Ordem	Bacias rurais			Bacias urbanas		
		Áreas (km ²)	EM%	EP %	Áreas (ha)	EM %	EP %
Corps E.	1R	<12000	9	21			
V. Chow	2R	<12000	-7	19			
Onda Cin.	3R	<12000	2	20			
Kirpich	4R, 3U	<12000	-9	19	<2700	1	39
Carter	1U				<1100	1	40
Schaake	2U				<62	-9	30
Desbordes	4U				<5100	11	49

Fonte: SILVEIRA, 2005

Na Tabela 2, pode-se verificar as Equações que resultaram em um melhor desempenho por SILVEIRA, 2005.

Tabela 2 : Equações de Tempo de Concentração

Nome	Equação (1)
Corps Engineers (8)	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$
Ven te Chow (5)	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$
Kirpich (2)	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$
Carter (15)	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$
Schaake et al (14)	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$
Desbordes (16)	$T_c = 0,0869A^{0,3039}S^{-0,3832}A_{imp}^{-0,4523}$

Fonte: Adaptado de SILVEIRA, 2005.

Nas Equações da Tabela 2, tem-se que:

T_c : Tempo de Concentração, dado em horas;

L: Comprimento do Talvegue, dado em metros;

S: Declividade média equivalente do talvegue, dado em m/km.

A: Área molhada do talvegue, em m²;

A_{imp} : Área impermeável, em m²;

i: Intensidade de precipitação, em mm/h;

2.3.5 Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento superficial, de deflúvio, ou de “Run-off”, é definido por Jabor (2004) como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo em que várias chuvas ocorreram.

Conhecendo-se o coeficiente de “Run-off” para uma determinada chuva intensa de uma certa duração, pode-se determinar o escoamento superficial de outras precipitações de intensidades diferentes, desde que a duração seja a mesma. Este procedimento é muito usado para se prever a vazão de uma enchente provocada por uma chuva intensa (JABOR, 2004).

Tucci (1995) afirma que o coeficiente de escoamento superficial é resultado do tipo de solo e cobertura, ocupação do solo, tempo de retorno e intensidade de chuva. Conhecendo-se este perfil do terreno, é possível determinar o coeficiente de deflúvio C, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2: Coeficiente de Escoamento Superficial - Run-off

Condições de superfície	Orografia	Plano		Ondulado		Montanhoso	
		C	CN	C	CN	C	CN
Áreas urbanizadas, Cerrados, pastagens	A	0,1	50	0,2	55	0,30	65
	B	0,2	55	0,3	60	0,4	70
	C	0,4	60	0,6	65	0,6	75
	D	0,60 - 0,80	70	0,60-0,90	75	0,60 - 1,00	80
Cerrados, pastagens e matas ralas	A	0,2	45	0,3	50	0,4	60
	B	0,25	50	0,35	55	0,45	65
	C	0,3	60	0,4	60	0,5	70
	D	0,4	65	0,5	70	0,6	75
Culturas e pastagens Terraceadas	A	0,1	35	0,3	45	0,4	50
	B	0,2	40	0,35	50	0,45	55
	C	0,3	50	0,4	60	0,5	60
	D	0,4	60	0,5	65	0,6	70
Culturas Terraceadas	A	0,1	30	0,2	40	0,3	50
	B	0,15	40	0,3	50	0,4	55
	C	0,2	50	0,4	55	0,5	60
	D	0,4	60	0,5	65	0,6	70

Fonte: GOINFRA, 2023

2.3.6 Vazões das Bacias

Os elementos para escoamento das águas pluviais devem ser dimensionados para as chuvas intensas, de modo que sejam drenadas integralmente e em espaço de tempo pequeno, evitando-se a ocorrência de alagamentos, transbordamentos e infiltrações.

A vazão a ser escoada é obtida multiplicando-se a área A, sobre a qual cai a chuva, pelo valor de intensidade de precipitação configurado nas propriedades da estrutura, conforme a equação 6 abaixo:

$$Q = \frac{A \cdot i}{3600} \quad (6)$$

Onde:

Q: vazão a escoar, em m³/s;

A: área de cobertura do coletor pluvial, em m²;

i = Intensidade de precipitação, em (mm/h).

O Manual de Hidrologia Básica do DNIT (2005), estabelece o Método Racional para o cálculo da descarga máxima de uma enchente de projeto. Este método consiste em relacionar a vazão a ser escoada com o coeficiente de escoamento superficial. Assim, a equação para a vazão máxima de projeto, representada pelo coeficiente Q é dada pela Equação 7 a seguir:

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6} \quad (7)$$

Em que:

Q = descarga máxima, em m³/s;

C = coeficiente de deflúvio, adimensional;

i = intensidade de precipitação, em mm/h;

A = área da bacia, em km²

2.3.7 Dimensionamento de bueiros como canais

De acordo com o manual de drenagem do DNIT (2018) os principais desafios hidráulicos envolvidos na construção de bueiros para transposição de talvegues estão relacionados ao dimensionamento adequado do bueiro para suportar a carga hidráulica a montante, evitando transbordamentos que possam causar danos aos aterros e pavimentos e inundação a montante do bueiro.

A escolha do regime hidráulico (crítico, subcrítico ou supercrítico) a adotar também é importante e depende da possibilidade de a obra poder ou não trabalhar com carga hidráulica a montante. O manual de drenagem do DNIT orienta uma série de equações para se conhecer o regime crítico de escoamento para determinação do regime a ser adotado em projeto, são elas a energia específica e fluxo crítico, que têm como grandezas a profundidade, a vazão, a velocidade e a declividade críticas.

$$E = h + \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

Onde:

E: Energia Específica;

h = Profundidade hidráulica definida como a relação entre a área molhada A e a largura da superfície livre do fluxo;

V = Velocidade de escoamento;

g = Aceleração da gravidade

$$h_c = \frac{A_c}{T_c} \quad (9)$$

Em que:

h_c : Profundidade crítica;

A_c : Área molhada crítica;

T_c : Largura da superfície livre do fluxo;

$$Q_c = A_c \sqrt{gh_c} \quad (10)$$

Em que:

Q_c : Vazão crítica;

A_c : Área molhada crítica;

$$V_c = \sqrt{gh_c} \quad (11)$$

Onde:

V_c : Velocidade crítica

Considerando a ocorrência de fluxo uniforme, pode-se estabelecer a correlação dos elementos de definição do escoamento com a declividade do canal. Essa última ligação só é possível através de fórmulas empíricas como a idealizada por Chezy ou a de Manning, esta, de longo uso, é definida pela expressão:

$$I = \frac{V^2 \times n^2}{R^{4/3}} \quad (12)$$

Em que:

I : Declividade crítica;

V : Velocidade do canal;

n : Coeficiente de rugosidade de Manning;

R : Raio hidráulico (Área molhada/Perímetro molhado)

Para os bueiros em estudo, o manual de drenagem do DNIT (2018) resume uma série de tabelas indicando as condições críticas por tipo, dimensão e regime dos bueiros para facilitar

na escolha do tipo do bueiro a ser implementado. Alguns exemplos são apresentados nas tabelas 3, 4 e 5 a seguir:

Tabela 3: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros tubulares de concreto trabalhando como canal ($ec = D$)

TIPO	DIÂMETRO (m)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSTC	0,60	0,22	0,43	1,98	0,88
BSTC	0,80	0,39	0,88	2,29	0,80
BSTC	1,00	0,60	1,53	2,56	0,74
BSTC	1,20	0,87	2,42	2,80	0,70
BSTC	1,50	1,35	4,22	3,14	0,65
BDTC	1,00	1,20	3,07	2,56	0,74
BDTC	1,20	1,73	4,84	2,80	0,70
BDTC	1,50	2,71	8,45	3,14	0,65
BTTC	1,00	1,81	4,60	2,56	0,74
BTTC	1,20	2,60	7,26	2,80	0,70
BTTC	1,50	4,06	12,67	3,14	0,65

Fonte: DNIT (2018)

Tabela 4: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros celulares de concreto trabalhando como canal ($ec = d$)

TIPO	BASE X ALTURA (mxm)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BSCC	1,0 x 1,0	0,67	1,71	2,56	0,78
BSCC	1,5 x 1,5	1,50	4,70	3,14	0,68
BSCC	2,0 x 1,5	2,00	6,26	3,14	0,56
BSCC	2,0 x 2,0	2,67	9,64	3,62	0,62
BSCC	2,0 x 2,5	3,33	13,48	4,05	0,69
BSCC	2,0 x 3,0	4,00	17,72	4,43	0,76
BSCC	2,5 x 2,5	4,17	16,85	4,05	0,58
BSCC	3,0 x 1,5	3,00	9,40	3,14	0,44
BSCC	3,0 x 2,0	4,00	14,47	3,62	0,47
BSCC	3,0 x 2,5	5,00	20,22	4,05	0,51
BSCC	3,0 x 3,0	6,00	26,58	4,43	0,54
BDCC	2,0 x 1,5	4,00	12,53	3,14	0,56
BDCC	2,0 x 2,0	5,33	19,29	3,62	0,62
BDCC	2,0 x 2,5	6,67	26,96	4,05	0,69
BDCC	2,0 x 3,0	8,00	35,44	4,43	0,76
BDCC	2,5 x 2,5	8,33	33,70	4,05	0,58
BDCC	3,0 x 1,5	6,00	17,79	3,14	0,44
BDCC	3,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,47
BDCC	3,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,51
BDCC	3,0 x 3,0	12,00	53,16	4,43	0,54
BTCC	2,0 x 2,0	8,00	28,93	3,62	0,62
BTCC	2,0 x 2,5	10,00	40,44	4,05	0,69
BTCC	2,5 x 2,5	12,50	50,55	4,05	0,58
BTCC	3,0 x 2,0	12,00	43,40	3,63	0,47
BTCC	3,0 x 2,5	15,00	60,66	4,05	0,51
BTCC	3,0 x 3,0	18,00	79,73	4,43	0,54

Fonte: DNIT (2018)

Tabela 5: Vazão, velocidade e declividade crítica de bueiros circulares metálicos corrugados trabalhando como canal ($ec = d$)

TIPO	BASE X DIÂMETRO (m x m)	ÁREA MOLHADA CRÍTICA (m ²)	VAZÃO CRÍTICA (m ³ /s)	VELOCIDADE CRÍTICA (m/s)	DECLIVIDADE CRÍTICA (%)
BDTM CORRUGAÇÃO 152 x 51mm	1,50	2,71	8,45	3,14	1,65
	1,80	3,90	13,33	3,43	1,55
	1,90	4,34	15,26	3,53	1,53
	2,15	5,56	20,78	3,75	1,46
	2,30	6,37	24,60	3,88	1,43
	2,65	8,45	35,05	4,17	1,37
	2,75	9,10	38,45	4,25	1,35
	3,05	11,20	49,81	4,47	1,30
	3,20	12,32	56,16	4,58	1,28
	3,40	13,91	65,35	4,72	1,26
	3,65	16,05	78,04	4,89	1,23
	3,75	16,93	83,49	4,96	1,22
	3,80	17,38	86,30	4,99	1,21
	4,10	20,23	104,36	5,18	1,18
	4,20	21,23	110,84	5,25	1,17
	4,30	22,25	117,56	5,31	1,16
	4,60	25,47	139,14	5,49	1,14
	4,80	27,73	154,77	5,61	1,12
	4,95	29,49	167,14	5,70	1,11
	5,00	30,09	171,39	5,72	1,11
	5,35	34,45	202,98	5,92	1,08
	5,50	36,41	217,51	6,00	1,07
	5,70	39,10	237,83	6,11	1,06
	5,85	41,19	253,78	6,19	1,05
	5,95	42,61	264,77	6,24	1,04
	6,10	44,78	281,77	6,32	1,03
	6,40	49,30	317,70	6,48	1,02
	6,50	50,85	330,26	6,53	1,01
	6,85	56,47	376,53	6,70	1,00
	6,95	58,13	390,42	6,75	0,99
	7,25	63,26	433,93	6,89	0,98
	7,30	64,14	441,45	6,92	0,97
	7,45	66,80	464,48	6,99	0,97
	7,60	69,52	488,21	7,06	0,96
	7,80	73,32	520,97	7,15	0,95

Fonte: DNIT (2018)

2.4 Problemas de erosões

“A erosão laminar origina-se a partir do impacto da gota de chuva, que participa em 95% do problema erosivo. Somente 5% deste problema são causados pela água corrente.” (NOLLA, 1982 apud ALMEIDA, 2007)

O impacto da gota de chuva ao cair em uma superfície, devido sua energia cinética, causa uma compactação no solo e, ao mesmo tempo, faz com que as partículas desagregadas do solo saltem, de modo que após esse efeito a partícula desagregada ao retornar para a superfície encontra uma película de água que transporta as mesmas para o ponto de altitude mais baixa, especialmente nos casos em que não exista presença de obstáculos, como vegetação viva ou morta cobrindo o solo (ALMEIDA, 2007).

Além disso, de acordo com ALMEIDA (2007) a energia cinética das gotas de chuva ao cair em solo desprotegido, também possui ação desagregadora das partículas do solo, que são arrastadas pela lâmina d'água. Este fenômeno ao longo do tempo resulta em erosões que podem causar inúmeros prejuízos nos casos em que não há intervenção.

De acordo com Verdum, *et al.* (2016) “ravinas e voçorocas são estágios avançados da erosão hídrica, sendo condicionadas principalmente pelo escoamento concentrado da água da chuva e pela dinâmica hídrica em subsuperfície.”

Na Figura 09, pode-se observar um exemplo de erosão do solo causada pela chuva na BR-020 no Município de São Desidério-BA, afetando a segurança e causando danos materiais às estruturas presentes na região.

Figura 9: Erosão no Município de São Desidério – BA



Fonte: Prefeitura Municipal de São Desidério, 2021

A construção de estradas sempre resulta na raspagem da camada vegetal da superfície, na movimentação dos solos decorrentes de escavações e aterros e na compactação do seu leito de drenagem, o que faz com que as estradas se tornem vulneráveis a erosão que a chuva pode vir a causar. (DOTTO apud GARCIA, *et al.*, 2015)

O aumento da declividade, comprimento de rampa e a diminuição da cobertura vegetal aumentam a velocidade de escoamento da água e a sua capacidade de carregar sedimentos sólidos. Esses fatores são diretamente proporcionais à erosão que podem causar (BAGIO *et al.*, 2020).

Para minimizar e controlar esses efeitos, fazem-se necessárias a sistematização e proteção da área através da suavização da inclinação, redução no comprimento das rampas e aumento da rugosidade superficial. Inicialmente, deve-se conter o escoamento superficial

originado da drenagem das enxurradas por meio de uma estruturação condicionando o fluxo de água, pois este é o mecanismo principal que promove o desencadeamento do processo erosivo. (VERDUM, *et al.* 2016)

De acordo com o Manual para atividades ambientais rodoviárias do DNIT (2006), os aterros situados em margens de rios além de exigir remoção da vegetação ciliar, propicia um aporte rápido do seu solo constituinte para o corpo fluvial. Em áreas inundáveis, as águas provenientes de enchentes podem atingir os aterros e erodi-los, especialmente se o solo for de baixa resistência.

Os projetos de engenharia deverão prever enrocamento de proteção convenientemente dimensionados que funcionem como anteparo e filtro, evitando a remoção e carreamento de materiais em todos os locais onde as águas atingem permanente ou periodicamente os aterros (lagos, margens de rios). No caso de várzeas, os estudos de hidrologia deverão fornecer as alturas e periodicidades previstas de alagamento, que por sua vez, indicarão a necessidade ou não de proteção especial. DNIT (2006)

Algumas das soluções para o controle de erosão hídricas são apresentadas por Verdum, *et al.* (2016):

Retentores de sedimentos: estruturas construídas com material orgânico e/ou inerte. Utilizam-se sacos de ráfia preenchidos com palha seca de gramíneas, fibra de coco, esterco curtido, sementes, folha seca de palmeira/bambu, seixos, entre outros, amarrando de forma cilíndrica com arames ou envolvendo-o com telado, a depender do material a ser envolto. Na Figura 10, é possível observar um exemplo de retentores de sedimentos sendo executados.

Figura 10: Retentores de sedimentos



Fonte: Minas Gramados, 2023.

Muros de Gabiões: são paredes formadas por caixas de pedra constituídas malhas de arame confeccionadas em formato quadrado, nos quais fragmentos de rocha são depositados dentro dessas caixas e fechadas com arame. Proporcionam boa drenagem e eficiente resistência à movimentação do solo. Na Figura 11 é exemplificada uma estrutura de muro de gabião executada.

Figura 11: Muro de gabião



Fonte: Prefeitura Municipal de Cocais – MG, 2022

Enrocamentos ou diques de pedra: são construídos em arranjo de pilha a partir da deposição de material rochoso fragmentado. Essa estrutura é disposta de modo transversal a um fluxo de água ou sedimentos em superfície, como no canal de uma voçoroca, onde haja escoamento de água proveniente de afloramento do lençol freático. Atuam como obstáculos permeáveis e retardam a velocidade da água, o que possibilita a sedimentação de materiais em suspensão e consequente preenchimento de uma feição erosiva. Visualiza-se um exemplo de enrocamento executado na Figura 12.

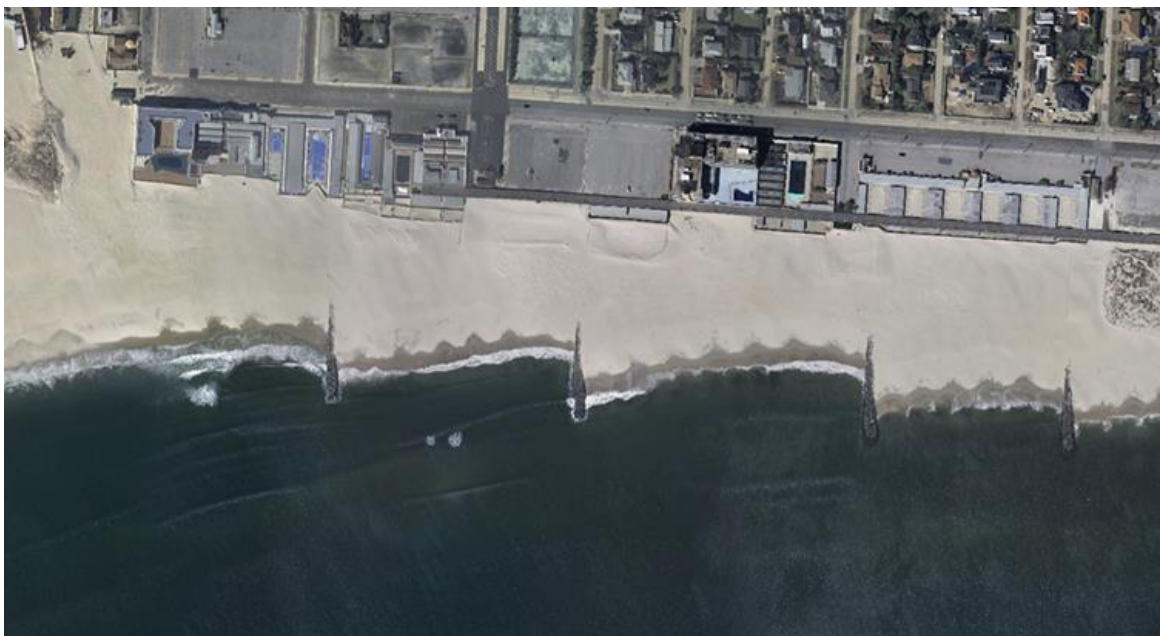
Figura 12: Enrocamento de pedra



Fonte: Prefeitura Municipal de São João Batista – SC, 2021

Râmprolas ou espigões transversais: são enrocamentos longitudinais construídos em leitos fluviais ou marítimos com o objetivo de desviar o fluxo de água em um determinado segmento, de modo a paralisar um processo de retirada de material da base do talude fluvial e estabilizar o processo erosivo na margem do curso de água, conforme pode ser visualizado na Figura 13.

Figura 13: Campo de espigões em Long Island/NY



Fonte: *InTeGrate*, 2018

Muros de contenção: são estruturas construídas com grades de madeira preenchidas com fragmentos de rocha de maior granulometria. Essas estruturas são construídas de forma a resistir a forças de cisalhamento, tombamento e deslizamento do material instável. Geralmente são construídas como caixas, com tábuas dispostas de forma semelhante a um ‘jogo-da-velha’ e enterradas a uma profundidade tal que a superfície mais instável não seja capaz de tombá-la. Um exemplo de muro de contenção executado pode ser visualizado na Figura 14.

Figura 14: Muro de contenção



Fonte: Wasaki Engenharia, 2021

Muro Rip Rap: O muro Rip Rap, também chamado de “muro de sacaria de solo-cimento”, é um tipo de muro construído com sacos de cimento. Esses sacos são preenchidos por uma composição de solo, cimento e água, então colocados em camadas sobrepostas e socados. Na Figura 15 é possível visualizar um exemplo de muro rip rap implantado no Município de Parintins – AM.

Figura 15: Muro Rip Rap



Fonte: Parintins Amazonas, 2018

Hidrossemeadura: A erosão também pode ser evitada com a revegetação da superfície das encostas. Para isso, a técnica de hidrossemeadura que é constituída por um composto de sementes, mulch, água e outros aditivos, pode ser usada para criar uma plantação de raízes fortes para segurar a terra e conter o processo erosivo, conforme pode ser visto na Figura 16.

Figura 16: Hidrossemeadura



Fonte: NSC TV, 2020

Solo grampeado: A técnica do solo grampeado consiste basicamente na instalação de grampos com cobertura de concreto projetado.

Figura 17: Técnica de Solo Grampeado para contenção



Fonte: EFG Fundações, 2021

3 METODOLOGIA

O estudo de caso, conforme Yin (2010) é uma abordagem de pesquisa empírica que busca compreender um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, levando em consideração a complexidade e a interação entre várias variáveis. Essa metodologia envolve a coleta de dados a partir de várias fontes de evidências e a utilização de proposições teóricas para orientar a análise dos dados.

No contexto desta pesquisa, foram consultadas fontes como livros técnicos, artigos científicos e normas técnicas emitidas por órgãos governamentais, como o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA). Dessa forma, foi utilizada uma combinação de estudos de caso, referências teóricas e fontes técnicas para obter uma compreensão abrangente e embasada sobre o tema. Isso permite obter compreensões práticas e teóricas, contribuindo para o desenvolvimento de soluções eficientes e atualizadas no campo da drenagem de vias urbanas e rurais.

O foco principal a análise detalhada dos sistemas de drenagem em vias urbanas, assim como a avaliação dos efeitos resultantes de sua implementação. Em sua primeira etapa, a abordagem adotada consiste na organização e síntese do conhecimento teórico disponível.

Em uma segunda etapa, no capítulo 4, foram apresentados a área de estudo, bem como os dados hidrológicos utilizados para dimensionamento dos três bueiros localizados na Avenida Progresso, em Senador Canedo – GO. Em seguida, no item 4.3, foi apresentada a solução adotada de projeto, com algumas alterações para melhor visualização.

Uma etapa subsequente deste estudo foi o relato do acompanhamento e monitoramento da execução dos bueiros. Foram realizadas visitas de campo durante a execução das obras para registros fotográficos das etapas e acompanhamento da execução no período de 06 de setembro de 2022 a 16 de fevereiro de 2023, verificando e analisando se o Manual de Execução de Drenagem do DNIT (2018) foi atendido para a execução dos três bueiros.

No segundo semestre de 2023, cerca de seis meses após a execução e em período chuvoso, foi feita uma visita técnica ao local de estudo para uma análise visual e relatório fotográfico dos bueiros a fim de verificar de forma qualitativa a eficiência da obra e analisar se a execução dos bueiros foi satisfatória.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

A Avenida Progresso está localizada entre os paralelos $16^{\circ}41'46.38''$ e $16^{\circ}42'0.73''$ de latitude sul e meridianos $49^{\circ}11'32.55''$ e $49^{\circ}36'0.14''$ de longitude oeste. Com 11 quilômetros de extensão, a Avenida se localiza entre a Vila Galvão e o Bairro Jardim de Todos os Santos, ambos no município de Senador Canedo. Essa Avenida possui uma relevância importante pois permite a interligação entre os Municípios de Goiânia e Senador Canedo, visto que o bairro vizinho da Vila Galvão, Residencial Aruanã, se situa em Goiânia. Na Figura 18 é possível observar a extensão da Avenida Progresso e os setores que ela interliga.

Figura 18: Avenida Progresso

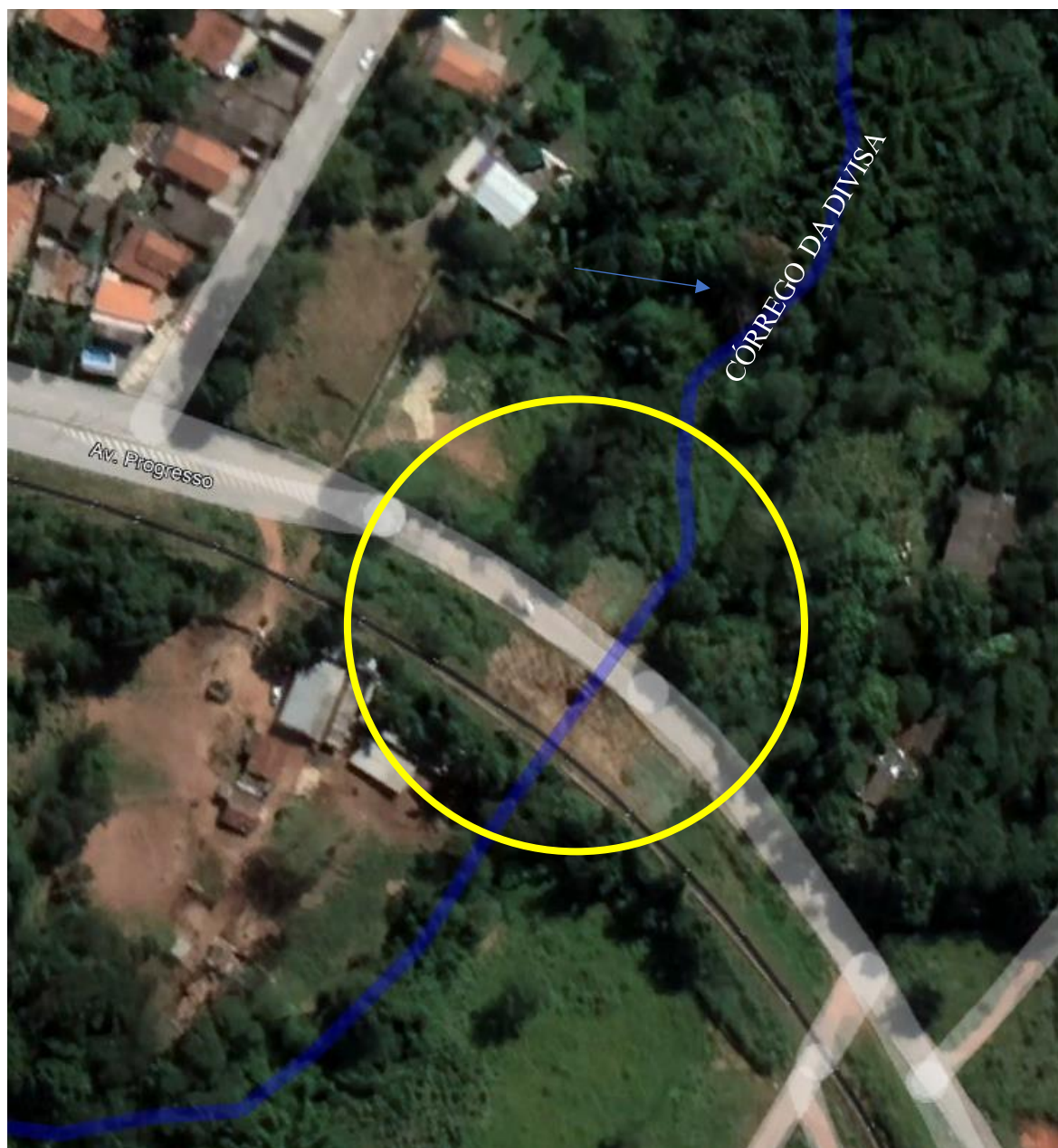


Fonte: Adaptado de Google Earth (2022)

4.1 Localização da área do Estudo de Caso

Entre os paralelos $16^{\circ}42'13,344''$ e $16^{\circ}42'13,644''$ de latitude sul e os meridianos $49^{\circ}10'55,043''$; $49^{\circ}10'54,300''$ de longitude oeste serão implantados os três bueiros selecionados para o estudo de caso. Neste local a Avenida Progresso cruza com um curso d'água denominado Córrego da Divisa, que deságua no rio Meia Ponte, conforme a Figura 19.

Figura 19: Área de estudo selecionada



Fonte: Adaptado de Google Earth (2022)

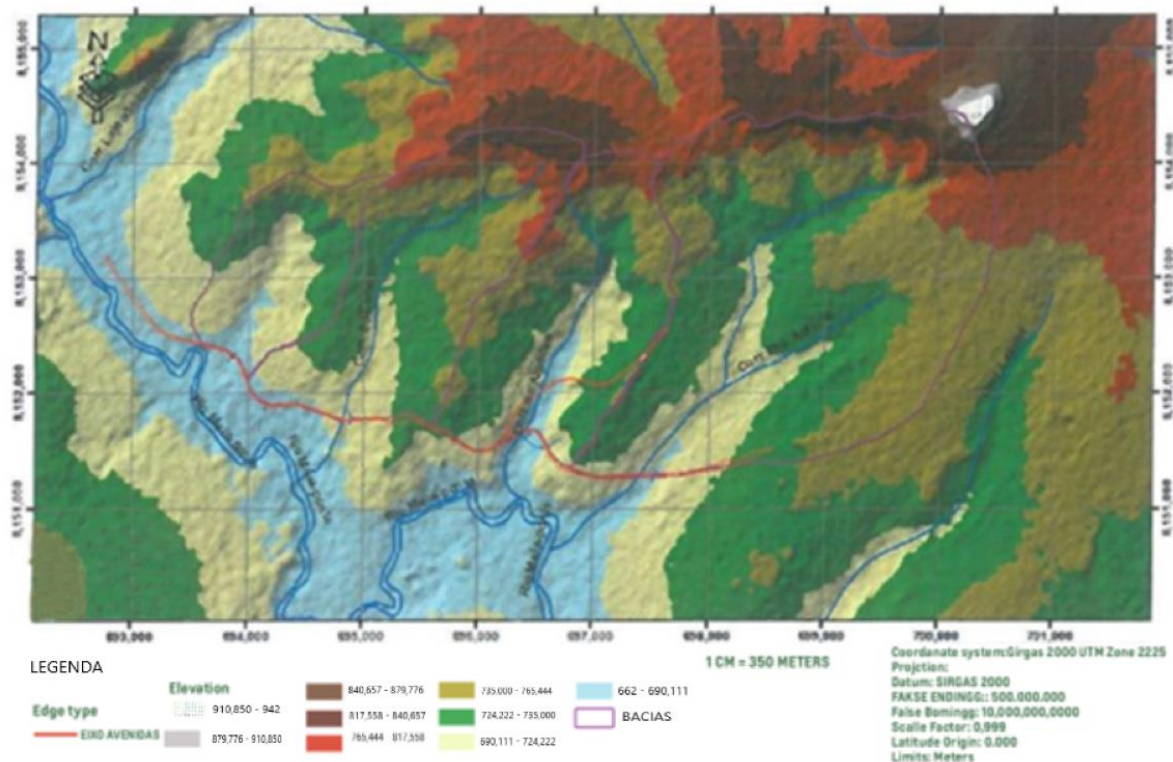
4.2 Dados Hidrológicos da Área de Estudo

Os dados hidrológicos apresentados a seguir tem como fonte o projeto de pavimentação da Avenida Progresso que engloba terraplenagem, drenagem e sinalização da via, de posse da Prefeitura Municipal de Senador Canedo. O projeto foi desenvolvido no ano de 2019 com o objetivo de proporcionar uma nova via de acesso ao município de Senador Canedo a partir da Vila Galvão, dando acesso aos novos empreendimentos imobiliários da região.

4.2.1 Relevo e Hidrografia

O traçado do projeto geométrico atravessa uma região com relevo ondulado, com altitudes variando entre 670 e 900 metros conforme pode ser visualizado na Figura 20.

Figura 20: Relevo



Fonte: Projeto, 2019

As bacias hidrográficas variam de micro a pequeno porte, determinadas quanto aos seus parâmetros quantitativos, como área, forma, extensão e declividade do talvegue principal através de cartas do IBGE, na escala 1:100.000.

A declividade média, área e comprimento médio das bacias foram determinados utilizando ferramentas de programas de geoprocessamento e os dados foram retirados de arquivos shapefiles das otobacias do Estado de Goiás e imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução de 30/90 metros. Para classificação do tipo de relevo, chegou-se a uma declividade média de 5 a 10%, podendo ser classificado como ondulado.

Quadro 3: Classes de relevo segundo inclinação média das vertentes

CLASSES DE RELEVO		CLASSIFICAÇÃO DO RELEVO SEGUNDO A INCLINAÇÃO MÉDIA DAS VERTENTES	
Declividade	Classe	Tipo de relevo	Inclinação
0 – 3%	Relevo plano	Plano	0 a 2%
3 – 6 %	Relevo suave ondulado	Levemente ondulado	2 a 5%
6 – 12%	Relevo ondulado	Ondulado	5 a 10%
12 – 20%	Relevo forte ondulado	Muito ondulado	10 a 20%
20 – 40%	Relevo forte ondulado mais montanhoso	Montanhoso	20 a 50%
40 – 60%	Relevo montanhoso	Muito montanhoso	50 a 100%
> 60%	Fortemente montanhoso	Escarpado	> 100%

Fonte: Projeto, 2019

A área de contribuição de acordo com as imagens SRTM e otobacias da região pôde ser estimada através do Google Earth para uma melhor visualização na Figura 21. A área estimada foi de 1,68 km².

Figura 21: Área de contribuição da região de estudo

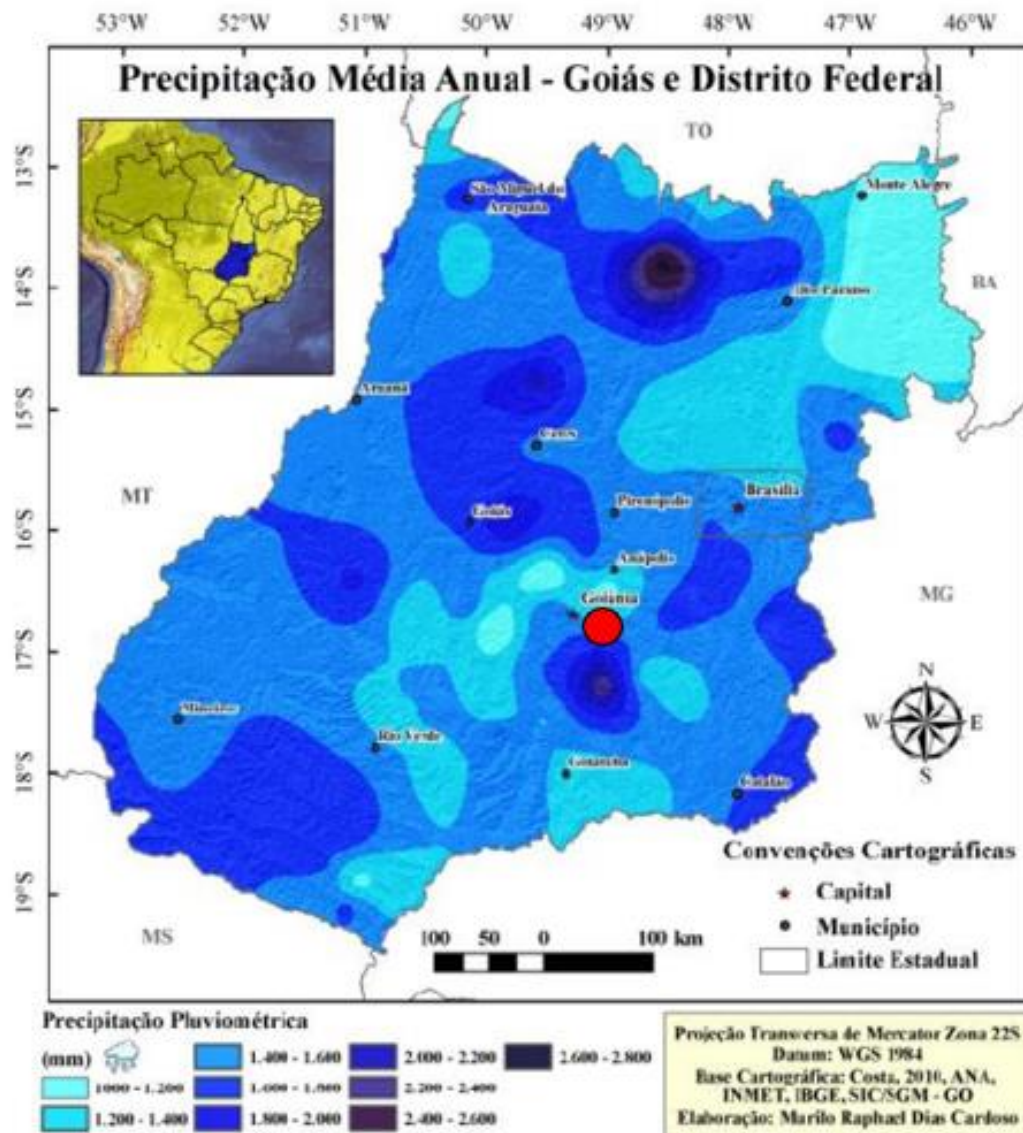


Fonte: Projeto, 2019

4.2.2 Pluviometria

No Estado de Goiás, a distribuição e a altura das precipitações devem-se, quase que exclusivamente, aos sistemas de circulação atmosférica, o que torna o efeito da topografia insignificante, não chegando a interferir nas tendências gerais, determinadas pelos fatores dinâmicos. Há, durante o ano, um período chuvoso e outro seco, com um mês de transição nas passagens de um para o outro. Pode-se observar na Figura 22 os dados de precipitação média anual de Goiás e do Distrito Federal.

Figura 22: Precipitação Média Anual - Goiás e Distrito Federal



● local do trecho

Fonte: Projeto, 2019

O Estado de Goiás está servido de postos meteorológicos em número considerado razoável. Por sua proximidade da região em estudo, a estação meteorológica de Goiânia de código 01649013, do sistema nacional de postos climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), foi avaliada por inferir o grau de aproximação à realidade climatológica da área em estudo.

Os dados pluviométricos dessa estação meteorológica foram processados de modo a obter a média anual e mensal de chuvas da região, o número de chuvas por mês, o total de precipitação anual, as alturas máximas e mínimas, o registro de chuvas e respectivos pluviogramas, a precipitação total, a indicação do trimestre mais chuvoso e mais seco e a precipitação máxima em 24 horas. Dessa forma, os dados foram sintetizados de forma a se obter as curvas de intensidade-duração-frequência, curvas de altura-duração-frequência e os histogramas das precipitações pluviométricas mensais e das distribuições mensais dos números de chuva, que podem ser visualizados nas Figuras 23, 24 e Tabela 6.

Figura 23: Precipitações mínimas, máximas e médias nos dias de chuvas dos meses no período de 1949 a 2016



Fonte: Projeto, 2019

Figura 24: Totais mínimo, máximo e média mensal de precipitação em Goiânia de 1949 a 2016



Fonte: Projeto, 2019

Tabela 6: Resumo das Precipitações

Meses	Precipitação Média Mensal (mm)	% do Total	Número Médio Dias de Chuva	Precipitação Diária Máx. Observada (mm)	Precipitação Mensal Máx. Observada (mm)
Janeiro	253.5	15.64%	21	87.5	559.6
Fevereiro	221.2	13.65%	19	102.4	403.9
Março	253.6	15.65%	19	99.9	526.0
Abril	130.6	8.06%	11	116.8	325.2
Maio	34.5	2.13%	4	79.1	128.3
Junho	10.4	0.64%	1	47.1	76.4
Julho	5.7	0.35%	1	31.5	71.8
Agosto	13.2	0.81%	2	44.4	73.5
Setembro	54.6	3.37%	7	77.5	148.3
Outubro	147.9	9.13%	14	127.8	368.9
Novembro	216.4	13.35%	19	93.2	382.4
Dezembro	279.0	17.21%	22	136.6	530.5
Precipitação Máxima Anual Observada					2049.40 mm
Precipitação Mínima Anual Observada					1095.20 mm
Precipitação Média Anual					1620.50 mm
Totais Médios de Novembro a Março					244.74 mm
Totais Médios de Junho e Julho					8.04 mm
Totais Médios Meses de Transição - Abril / Maio e Agosto / Setembro					59.42 mm
Mês mais Chuvoso					Dezembro
Mês mais Seco					Julho
Número Médio Anual de Dias Chuvosos					140

Fonte: Projeto, 2019

4.2.3 Solos

Os solos encontrados na região das bacias e das avenidas são basicamente latossolos (LV41). A identificação dos solos auxilia na definição do coeficiente de escoamento (run-off), utilizado na metodologia de cálculo para estimativa das vazões das bacias.

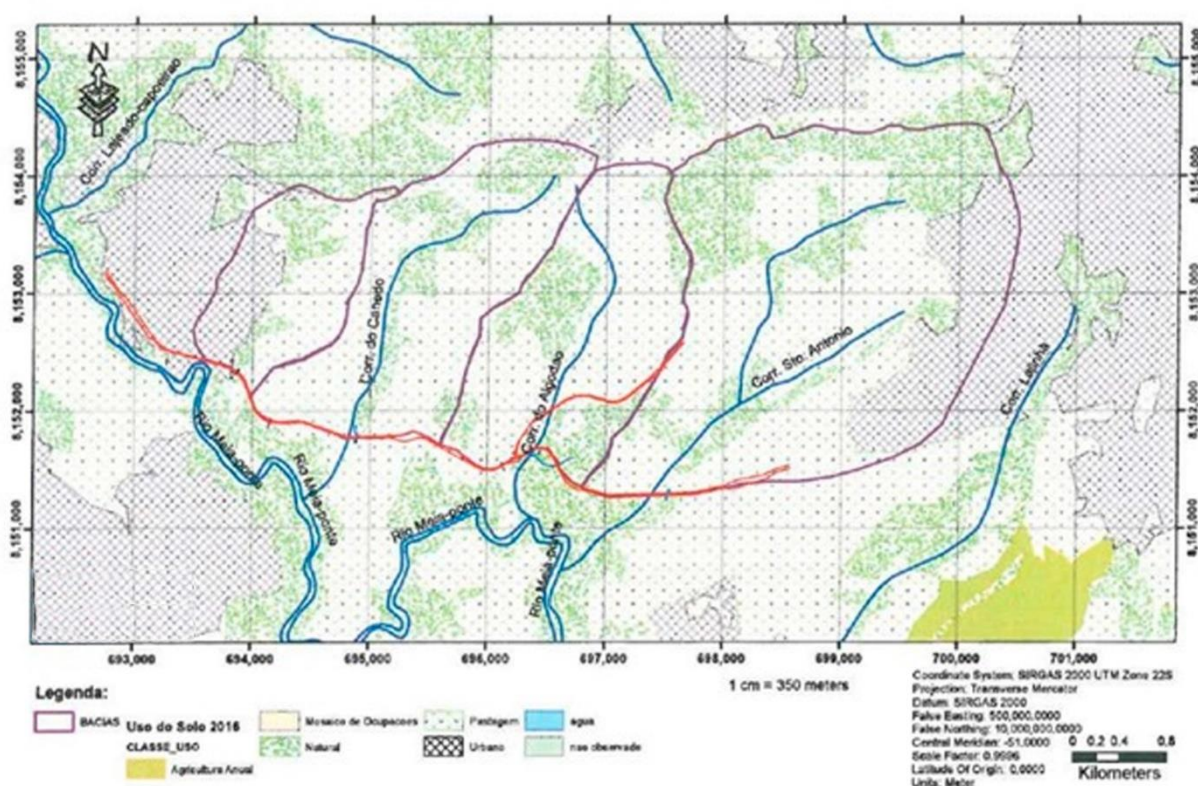
Tipo: LV41 Classe: LV

Descrição: Latossolo Vermelho (LV Distrófico + LVA Distrófico + RL Distrófico)

4.2.4 Vegetação e uso dos solos

O cenário atual da vegetação das terras na área de influência das bacias divide-se entre área de pastagens (Ap), vegetação natural nas regiões de APP e áreas urbanizadas, com pouca presença de savana arborizada (cerrado) e floresta estacional. Na Figura 25, é possível visualizar o mapa de Uso do Solo da área de estudo.

Figura 25: Uso do Solo



Fonte: Projeto, 2019

A ação antrópica vem substituindo a vegetação por áreas urbanizadas. Esta substituição acentuada na ocupação e uso do solo foi considerada na definição dos coeficientes de escoamento no projeto de drenagem. No Mapa de Uso dos Solos apresentado na Figura demonstra-se os levantamentos feitos pelos órgãos estaduais, como a Secretaria de Estado do

Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos (SEMARH) identificando a destinação econômica dada às áreas da região.

Considerando os elementos constantes do mapa de uso de solo/vegetação observa-se que do ponto de vista hidrológico as condições são “boas” nas áreas cobertas por florestas de galeria (compostas por árvores e arbustos em grande quantidade) e nas áreas de pastagem (compostas por gramíneas que se encontram em bom estado, densas e com altura superior a 15 cm) e “más” nas áreas urbanizadas.

Com mapa de uso de solo e tipo de relevo definidos, pode-se chegar ao coeficiente de escoamento adequado para o projeto, apresentado no quadro 4 a seguir:

Quadro 4: Coeficiente de escoamento (C)

Condições de superfície	Orografia	Plano		Ondulado		Montanhoso	
		C	CN	C	CN	C	CN
Áreas urbanizadas, Cerrados, pastagens	A	0,1	50	0,2	55	0,30	65
	B	0,2	55	0,3	60	0,4	70
	C	0,4	60	0,6	65	0,6	75
	D	0,60 - 0,80	70	0,60-0,90	75	0,60 - 1,00	80
Cerrados, pastagens e matas ralas	A	0,2	45	0,3	50	0,4	60
	B	0,25	50	0,35	55	0,45	65
	C	0,3	60	0,4	60	0,5	70
	D	0,4	65	0,5	70	0,6	75
Culturas e pastagens Terraceadas	A	0,1	35	0,3	45	0,4	50
	B	0,2	40	0,35	50	0,45	55
	C	0,3	50	0,4	60	0,5	60
	D	0,4	60	0,5	65	0,6	70
Culturas Terraceadas	A	0,1	30	0,2	40	0,3	50
	B	0,15	40	0,3	50	0,4	55
	C	0,2	50	0,4	55	0,5	60
	D	0,4	60	0,5	65	0,6	70

Fonte: Projeto, 2019

Como a região está em processo de urbanização, foi considerado um coeficiente de médio de 0,5/70 (C/CN).

4.3 Projeto de Drenagem da Área de Estudo

Nesta etapa, será analisado o projeto de implementação de três bueiros situados na Avenida Progresso em Senador Canedo. O resumo do dimensionamento dos bueiros para atender à demanda da área de contribuição em estudo é apresentada no Quadro 5:

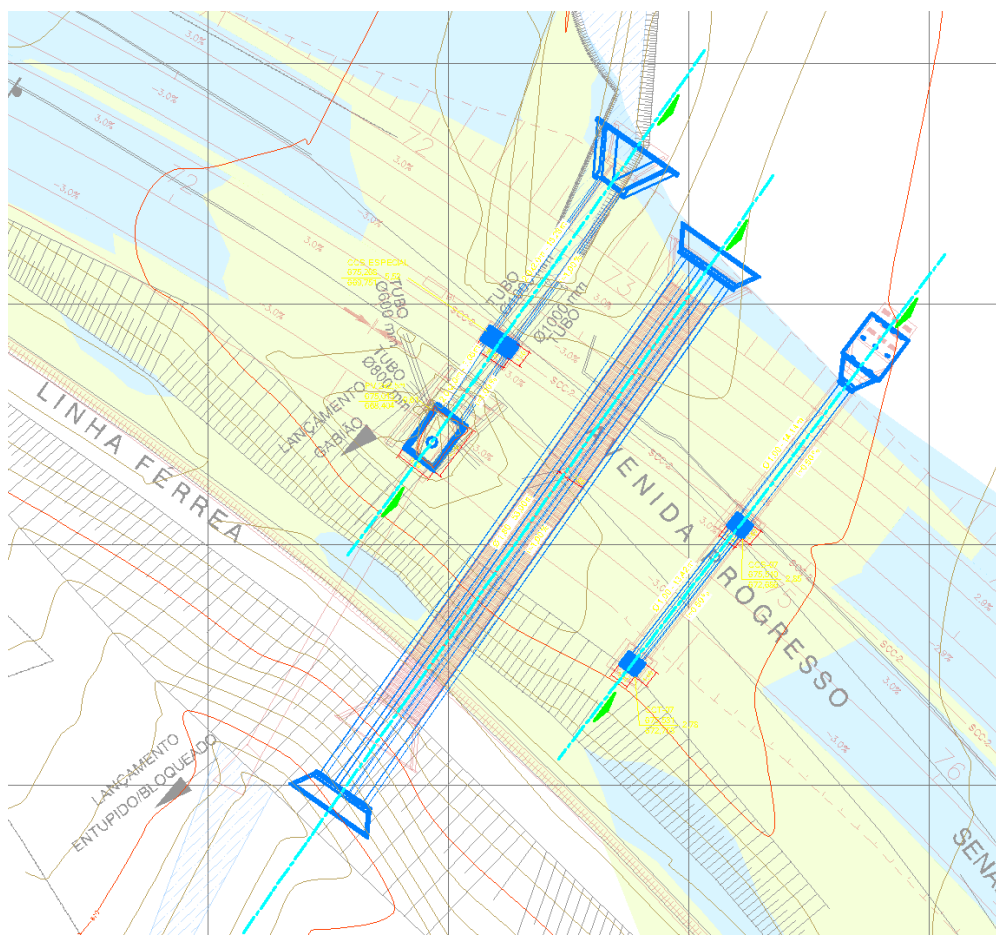
Quadro 5: Resumo de dimensionamento dos bueiros

Estaca	72+13.00	
Curso d'água	Córrego Água Limpa	
Área de contribuição (A) – km²	1,68	
Comprimento do Talvegue (L) – m	2,14	
Desnível (H) – m	85	
Declividade do Talvegue (S) - %	3,61	
Tipo de Solo	MÉDIO	
Vegetação	B	
CN/C	0,5	
Coeficiente de redução	1	
Método de dimensionamento	RACIONAL	
Tempo de concentração (Tc) – hr	0,429	
Tempo de recorrência (TR) – anos	15	25
Intensidade (I) – mm/h	99,115	105,747
Vazão da bacia (Q) – m³/s	23,15	24,69
Regime do trabalho:	CANAL	
Coeficiente de rugosidade (n)	0,026	
Declividade máxima de assentamento do bueiro	2,00%	
Obra prevista	BDTM Ø1,60 m	BSCC 1,5 X 2,0 m
Condições críticas:		
Lâmina d'água a montante (Hw crítica) – m	2,97	
Vazão crítica (Qcrit) – m³/s	23,9	
Velocidade crítica (Vcrit) – m/s	4,43	
Declividade crítica (icrit) - %	1,54	
Condições de projeto:		
Lâmina d'água a montante (Hw) – m	2,88	3,07
Área da seção (A) – m²	4,73	4,98
Vazão (Q) – m³/s	23,15	24,69
Velocidade de escoamento (V) – m/s	4,90	4,96
Altura da lâmina d'água (d) – m	1,90	1,99
Declividade máxima de assentamento - %	2,11	2,04

Fonte: Projeto, 2019

Na Figura 26, pode-se observar a planta de compatibilização entre os bueiros simples celular de concreto, duplo tubular metálico e simples tubular de concreto na região da Avenida Progresso onde foram construídos.

Figura 26: Planta de Compatibilização dos bueiros na Avenida Progresso



Fonte: Projeto, 2019

Nota-se que existe uma linha férrea próxima aos bueiros e está sendo identificado no projeto que já existia um lançamento entupido/bloqueado da linha férrea no local. Entretanto, em função do crescimento urbano na região, seu dimensionamento ou falta de manutenção causaram a falta de funcionalidade do bueiro anteriormente implantado para a área de contribuição do Bairro Vila Galvão, em Senador Canedo.

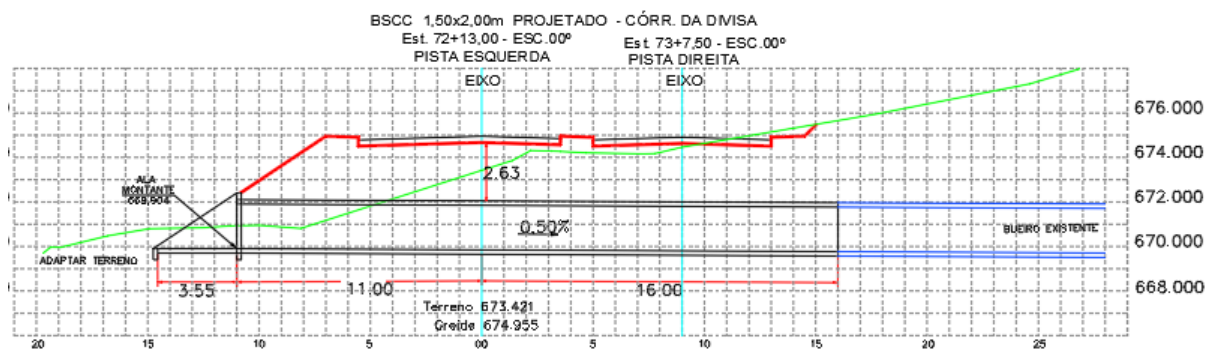
O projeto do bueiro Simples Celular de Concreto foi dimensionado propondo a revitalização da caixa coletora presente entre a linha férrea e a Av. Progresso e redimensionar a vazão em função do crescimento urbano na região. A opção pela revitalização da caixa se deu com objetivo de viabilizar a obra e não causar interferências na linha férrea existente.

Foi dimensionado um bueiro duplo tubular metálico além do simples celular de concreto para atender às vazões de projeto, pois a duplicação da avenida demandou dispositivos de drenagem que contribuíssem para a região do Córrego da Divisa. Ou seja, além do redimensionamento do bueiro antigo existente, houve a necessidade da implantação de um novo bueiro para atender à demanda da duplicação, que é captada pelo bueiro de greide composto de caixa coletora, corpo e boca, que é o bueiro simples tubular de concreto.

4.3.1 Perfil do Bueiro Simples Celular de Concreto

O detalhamento do perfil da extensão do bueiro Simples Celular de Concreto (BSCC) pode ser observado na Figura 27.

Figura 27: Perfil Bueiro Simples Celular de Concreto

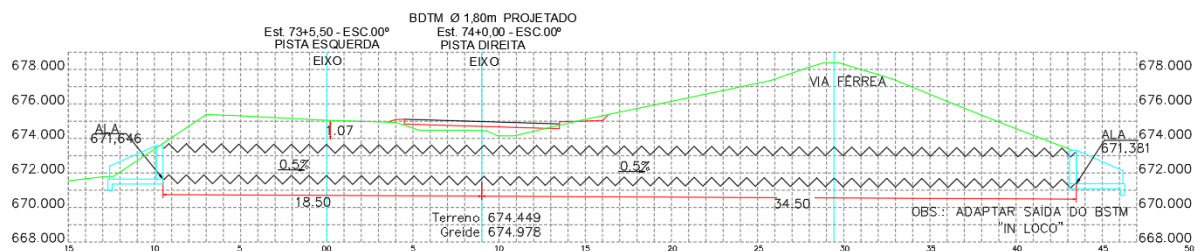


Fonte: Projeto, 2019

4.3.2 Perfil do Bueiro Duplo Tubular Metálico

O detalhamento do perfil do projeto do Bueiro Duplo Tubular Metálico (BDTM) pode ser observado na Figura 28.

Figura 28: Perfil Bueiro Duplo Tubular metálico

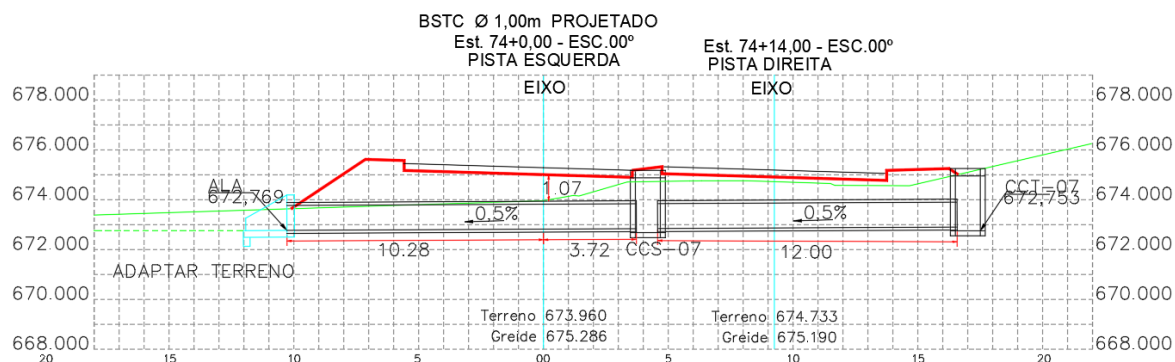


Fonte: Projeto, 2019

4.3.3 Perfil do Bueiro Simples Tubular de Concreto

O detalhamento do perfil do projeto do bueiro de greide pode ser observado na Figura 29.

Figura 29: Perfil Bueiro de Greide (Simples Tubular de Concreto)



Fonte: Projeto, 2019

4.4 Acompanhamento e Monitoramento do Processo Executivo

A execução da obra de drenagem durante o período chuvoso, entre outubro de 2022 e janeiro de 2023, apresentou desafios e implicações importantes pois o período chuvoso aumenta o risco de erosão, inundações e movimentação de solo. As chuvas intensas podem comprometer a estabilidade das escavações, afetar a compactação do solo e influenciar a qualidade da execução. Por isso, neste período o cuidado teve que ser redobrado.

4.4.1 Bueiro Duplo Tubular Metálico

A execução do túnel foi feita pelo método de escavação não destrutivo (MND), que é uma abordagem que permite a remoção ou exposição de materiais do subsolo sem danificar as estruturas circundantes ou as utilidades subterrâneas.

Para seguir com o método, primeiramente foi feita a locação do eixo e das alas do bueiro duplo tubular metálico para início da obra de jusante para a montante, favorecendo o escoamento da água de infiltração. Após a locação, foi feita uma limpeza da vegetação, escavação no local da boca a jusante do bueiro e locação topográfica dos eixos dos tubos metálicos, conforme Figura 30.

Figura 30: Escavação Inicial



Fonte: Autor, 2022

O início da execução do túnel foi através de emboque direto no talude. No processo de execução do emboque direto, são montados três anéis fora do talude, seguindo o nivelamento e alinhamento estabelecidos no projeto. Esses anéis são parcialmente aterrados para fixá-los no talude. Após o aterramento, inicia-se a escavação manual na frente e dá-se início à implantação da estrutura.

Após a locação do eixo da obra, inicia-se a escavação manual da frente (Figura 31), sendo importante que a escavação seja realizada dentro de um perímetro o mais próximo possível da circunferência externa do túnel. A frente de escavação deve avançar 0,46 m conforme o processo de avanço do túnel, que corresponde à largura dos anéis de aço corrugado.

Figura 31: Emboque direto no talude



Fonte: Autor, 2022

Logo após a conclusão da escavação, procede-se com a montagem imediata do primeiro anel. Em seguida, foi feito um preenchimento com pedras no espaço vazio para posterior preenchimento de solo-cimento.

De acordo com o DER-SP (2008), com o objetivo de evitar recalques, é necessário preencher os espaços vazios que se formam entre a face externa do revestimento do túnel e o terreno escavado. Para isso, é recomendado utilizar um material de preenchimento flexível e com boa resistência à compressão. Buscando atender às especificações foi utilizado solo-cimento para preenchimento dos espaços vazios com auxílio de uma bomba injetora, conforme Figuras 32 e 33.

Figura 32: Injeção de solo-cimento com bomba injetora



Fonte: Autor, 2022

Figura 33: Escavação manual para montagem de anéis metálicos



-16°42'14,199"S -49°10'57,712"W ±104,10m
Altitude:682.9m
FGR Obras Externas
20 de set. de 2022 11:24:15

Fonte: Autor, 2022

Conforme a recomendação de NARESI JÚNIOR (2021) a declividade e o alinhamento definidos em projeto foram verificados através de equipamentos topográficos (estação total) a cada três anéis montados. Ainda com o auxílio da topografia (Figura 34) foram verificados os pontos definidos ao longo da seção transversal do túnel, para controle das deformações no plano da frente de escavação. A forma circular dos segmentos é garantida passo a passo através deste controle. Além disso, a superfície também foi instrumentada, para acompanhamento de recalques.

Figura 34: Controle topográfico de execução

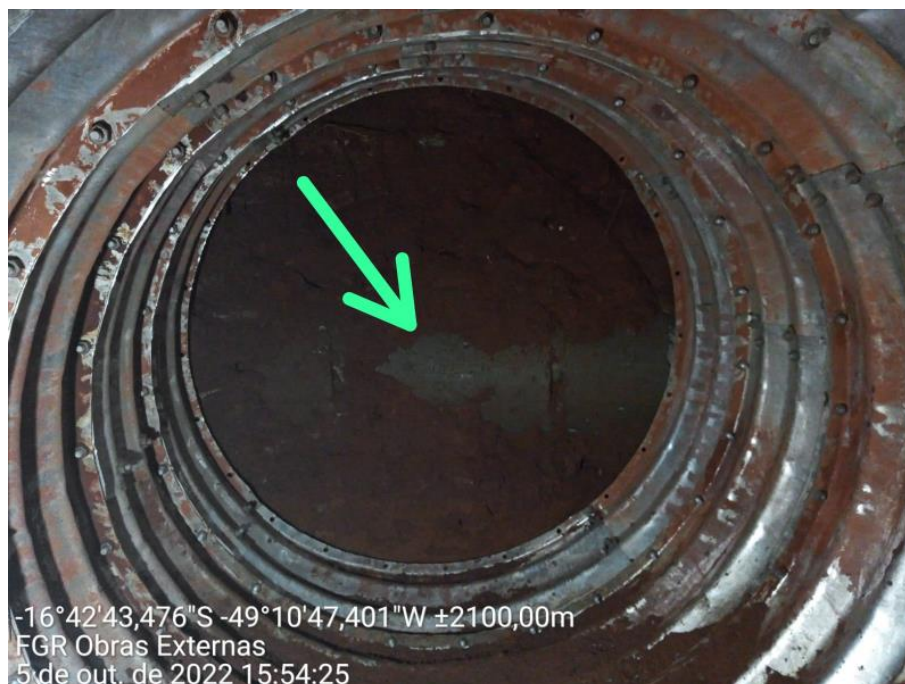


Fonte: Autor, 2022

Ao longo da escavação manual pelo método não destrutivo, foi encontrada uma interferência de um corpo de boca de lobo entupida construído pela empresa executora da linha férrea existente, conforme apresentado na Figura 35. Essa interferência não estava prevista em projeto, porém como a duplicação da avenida progresso foi readequada com novas caixas de captação, optou-se, em conjunto com os projetistas, por demolir a boca de lobo existente e

seguir com a escavação manual, visto que este dispositivo já não estava mais em funcionamento.

Figura 35: Interferência encontrada na escavação pelo método não destrutivo



Fonte: Autor, 2022

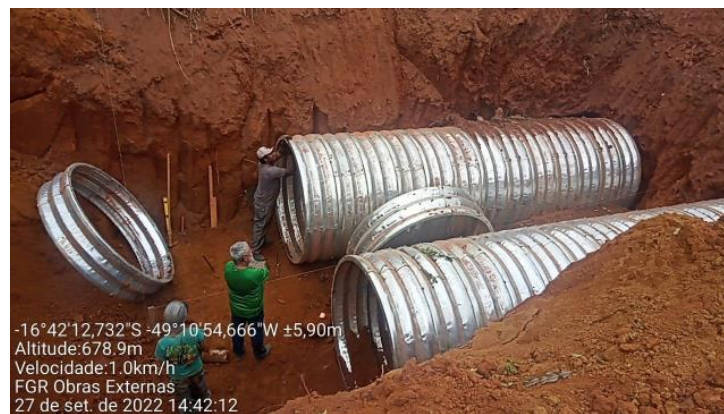
A escolha do material de aço corrugado e do método de execução não destrutivo foram feitas em função da linha férrea presente na região. Entretanto, para agilizar a execução do corpo do bueiro por conta das chuvas e prazo de entrega da obra, optou-se pela execução do método não destrutivo do ponto de jusante até ultrapassar uma distância segura da linha férrea e escavar o restante até a ala montante de forma convencional, com escavação mecanizada de valas, apiloamento, montagem de tubos e reaterro com compactação (Figuras 36 e 37), para isso, foi feito um cuidadoso controle tecnológico do aterro, conforme demonstrado na Figura 38, além do controle topográfico para não ocorrer nenhum tipo de prejuízo, ao longo do tempo, da pavimentação construída posteriormente.

Figura 36: Início da escavação mecanizada



Fonte: Autor, 2022

Figura 37: Montagem de tubos metálicos pelo método convencional



Fonte: Autor, 2022

Figura 38: Controle tecnológico de aterro



Fonte: Autor, 2022

O projeto especifica o coeficiente de rugosidade do material do corpo do bueiro em concreto. Por isso, as chapas do túnel foram revestidas parcialmente colocando tela soldada de malha de 5 mm (3/16") fixada a cada 15 cm, sobre a qual se projeta o concreto na espessura de 5 cm, conforme recomenda o DER-SP (2006). A ação de revestir o corpo metálico com concreto garante a durabilidade e a integridade da estrutura do túnel, protegendo-o contra possíveis danos causados por corrosão. Esse procedimento pode ser visualizado nas Figuras 39 e 40.

Figura 39: Execução de revestimento parcial do corpo do bueiro



Fonte: Autor, 2022

Figura 40: Revestimento do corpo do bueiro acabado



Fonte: Autor, 2022

Conforme especificação de serviço 026/2004 do DNIT (2004), destaca-se alguns dos cuidados a serem observados para a proteção do meio ambiente no decorrer das operações de execução dos bueiros tubos de aço corrugado, como:

- a) Remoção de materiais excedentes provenientes de escavações ou sobras nas proximidades da obra, a fim de impedir o entupimento do corpo do bueiro;
- b) Execução de obras de proteção nos pontos de deságue dos dispositivos, a fim de impedir a erosão das vertentes ou o assoreamento dos cursos d'água;
- c) Manutenção das condições locais onde houver escavação, através de replantio da vegetação nativa ou de grama;
- d) Caso não previsto em projeto, e se necessário, a fiscalização deve definir o tipo de revestimento a adotar nos dispositivos implantados, em função das condições locais.

Em função do item b da especificação de serviço do DNIT (2004), optou-se por fazer a proteção por meio de gabião no ponto de deságue do bueiro duplo tubular metálico, visando garantir a estabilidade do solo e reduzir os impactos ambientais decorrentes de erosões e assoreamentos.

Após cerca de um ano do bueiro executado, foi realizada uma visita técnica no local para avaliar a estabilidade e eficiência da execução geral dos bueiros. Conforme apresentado na Figura 41, constatou-se que a medida tomada em relação a proteção ambiental a jusante do bueiro foi adequada pois não foram identificados impactos negativos nos solos ao redor da ala e no canal natural.

Figura 41: Boca a jusante do BDTM com gabião de proteção



Entretanto, na inspeção, foi constatado um ponto de atenção no que consta o item c da especificação de serviço do DNIT (2004), pois houve um crescimento de vegetação nativa e um aparente carreamento de material para a ala montante do bueiro, o que demonstra que não está ocorrendo manutenção neste ponto apresentado na Figura 42.

Figura 42: Boca a montante do BDTM



Fonte: Autor, 2023

4.4.2 Bueiro Simples Celular de Concreto

O procedimento executivo do bueiro simples celular de concreto envolveu as seguintes etapas:

Inicialmente, foi feito o preparo do local onde o bueiro foi instalado, envolvendo a locação topográfica e a limpeza da área com remoção de vegetação semelhante ao processo descrito no bueiro duplo tubular metálico. Após a raspagem superficial e atendendo às Notas de Serviço, foi feita uma nova locação da obra por meio de instrumentação topográfica. Para melhor orientação das profundidades e declividade da canalização foram utilizados gabaritos para execução dos berços e assentamento através de cruzetas, conforme especificação da GOINFRA (2019).

Além disso, foi necessário fazer uma estabilização do fundo do bueiro com pedra de mão ou “rachão” a fim de proporcionar estabilidade para as máquinas e equipamentos

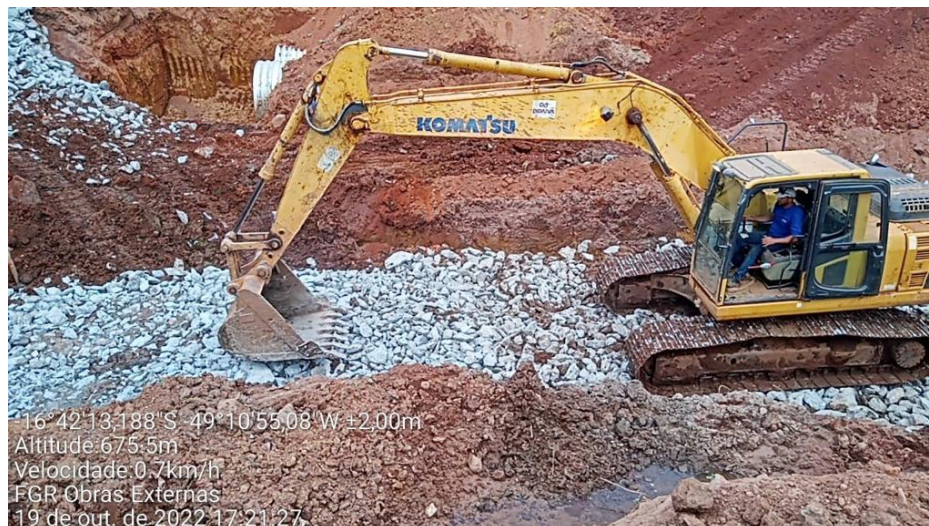
trabalharem, possibilitando o fluxo das águas de infiltração ou remanescentes da canalização do talvegue (Figuras 43 e 44).

Figura 43: Escavação mecanizada de bueiro



Fonte: Autor, 2022

Figura 44: Estabilização de fundo de bueiro com pedra de mão



Fonte: Autor, 2022

Após estabilizado o fundo do bueiro e instalados os gabaritos, foi feito o lastro de concreto das bases do bueiro. Elas são responsáveis por garantir a estabilidade da estrutura. O

concreto foi preparado de acordo com as especificações do projeto e despejado em formas previamente instaladas no fundo do talvegue, conforme Figura 45.

Figura 45: Execução de berço de concreto de BSCC



Fonte: Autor, 2022

O corpo do bueiro foi feito com peças pré-moldadas, atendidas as diretrizes presentes nas normas de concreto armado NBR 6118/80 e NBR 7187/87. Após a concretagem das bases, o corpo do bueiro com peças pré-moldadas, com a geometria definida de projeto pôde ser montado. A montagem do corpo foi feita com auxílio de escavadeira hidráulica com cinta de amarração. As juntas foram calafetadas com argamassa para evitar infiltração e carreamento do material aterrado sobre o corpo do bueiro. Além disso, foi feita uma impermeabilização externa com manta geotêxtil e emulsão asfáltica nas juntas das peças pré-moldadas (Figura 46), visando o mesmo objetivo.

Figura 46: Impermeabilização de juntas entre as peças pré-moldadas de concreto



Fonte: Autor, 2022

Com o corpo do bueiro executado, foi feita a execução da boca a montante que teve início pela escavação, a regularização do fundo e espalhamento do lastro (Figura 47). Concluído o lastro, foram colocadas as armaduras das soleiras e das alas e concretadas a soleira e a viga frontal.

Figura 47 : Execução de lastro de concreto da boca do bueiro



Fonte: Autor, 2022

Com a soleira e a viga frontal concretadas e a armadura das alas montadas conforme projeto, as formas são montadas e executado o escoramento das paredes interna e externa das alas para posteriormente serem concretadas.

Durante o período de montagem das formas e concretagem das bocas, esperou-se o período de cura da argamassa que foi calafetada nos vãos das peças do corpo do bueiro e somente após a cura prosseguiu-se com o aterro do corpo do bueiro.

O material escavado não possuía a qualidade adequada para obras de pavimentação, portanto o aterro foi com material obtido das áreas de empréstimos de terraplenagem (Figura 48). O aterro foi iniciado com o espalhamento de camadas de espessura máxima de 20 cm sobre a laje superior do bueiro e junto às paredes, devidamente compactado (Figura 49), atentando-se para não danificar as peças de concreto. Este processo foi contínuo até atingir 60 cm acima da laje, e seguido de espalhamento e compactação mecânica para pavimentação.

Figura 48: Reaterro de BSCC com substituição de material escavado



Fonte: Autor, 2022

Figura 49: Compactação de aterro



Fonte: Autor, 2022

Após a concretagem e a desmoldagem da boca do bueiro celular, foi feito o revestimento das paredes e do fundo com argamassa afim de dar acabamento e proteção da estrutura.

Concluídos os trabalhos, foram corrigidos os pontos suscetíveis de erosão com a realização de enrocamento e canalizações de acesso e saída dos bueiros. Da mesma forma, foram tomadas as medidas capazes de controlar os possíveis assoreamentos por meio de semeadura de vegetação de pastagem, conforme mostra a Figura 50.

Figura 50: Enrocamento de pedras e canalização de acesso ao bueiro



Fonte: Autor, 2023

Na inspeção após a execução dos bueiros, pode ser verificado que houve um carreamento proveniente de um deslizamento de pedra do aterro da pavimentação (Figura 51). Entretanto, esse fato não influenciou no funcionamento hidráulico da solução de drenagem. É importante ressaltar que a manutenção por meio de uma limpeza periódica do corpo do bueiro garante o seu adequado funcionamento hidráulico, pois evitam o acúmulo de materiais que possam causar entupimento do bueiro. Entretanto, não foi observada essa manutenção periódica do período de conclusão da obra até o momento da inspeção.

Figura 51: Situação de boca a montante de BSCC após executado



Fonte: Autor, 2023

4.4.3 Bueiro Simples Tubular de Concreto

Na execução do bueiro simples tubular de concreto, o processo de locação da obra seguiu conforme as Notas de Serviço especificado no projeto executivo da obra, realizada por instrumentação topográfica após o desmatamento e a regularização do fundo do talvegue.

Preencheu-se a vala com pedra de mão ou "rachão" para permitir o fluxo das águas de infiltração ou remanescentes da canalização do talvegue.

A escavação foi realizada em uma profundidade adequada para a instalação do bueiro escolhido, assegurando o recobrimento adequado da canalização.

O berço do bueiro (Figura 52) foi compactado de maneira a garantir a estabilidade da fundação e a declividade longitudinal conforme indicada no projeto.

Figura 52: Execução de berço de concreto



Fonte: Autor, 2022

Os tubos de concreto foram colocados, assentados e rejuntados utilizando argamassa cimento-areia, com traço 1:4 em massa (Figura 53).

Figura 53: Montagem de tubos do BSTC



Fonte: Autor, 2022

A boca do bueiro foi executada de forma semelhante ao descrito no acompanhamento do bueiro simples celular de concreto, seguindo a especificação de serviço 026/2004 do DNIT (2004), conforme mostrados nas Figuras 54 e 55.

Figura 54: Execução de boca de BSTC



Fonte: Autor, 2022

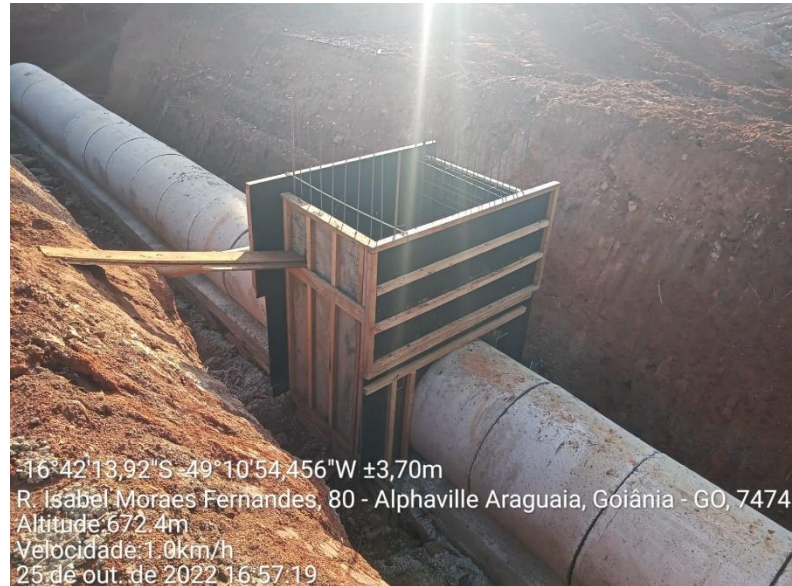
Figura 55: Boca de BSTC construída



Fonte: Autor, 2022

As caixas coletoras foram executadas após a montagem e amarração dos tubos de concreto, as formas e armações foram montadas conforme o projeto (Figura 56) e a concretagem foi feita bombeada com concreto de resistência 25 Mpa.

Figura 56: Execução de formas de caixa coletora de sarjeta para BSTC



Fonte: Autor, 2022

A concretagem foi feita em duas etapas, a primeira até uma altura de 1,5 metros da caixa coletora e a segunda após o reaterro até uma camada de 20 cm antes da altura concretada. Esse procedimento é realizado para facilitar a vibração do concreto e evitar o surgimento de brocas após o desmolde das formas, conforme pode ser visualizado na Figura 57.

Figura 57: Caixa coletora de Sarjeta do BSTC



Fonte: Autor, 2022

Na inspeção in loco, conforme a Figura 58, nota-se que o bueiro está parcialmente obstruído devido a falta de manutenção periódica, o que não se enquadra na especificação de serviço 026/2004 do DNIT.

Figura 58: Situação da boca do BSTC após executado



Fonte: Autor, 2022

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os sistemas de drenagem de transposição de talvegues, mais especificamente os bueiros, possuem diversos manuais e referências bibliográficas sobre os materiais e processos construtivos, mas no entanto, não possuem normas técnicas relativas ao dimensionamento propriamente dito.

O projeto objeto de estudo apresentou de forma consistente todos os dados usualmente necessários para realização do dimensionamento e atendimento das demandas da área de implantação, observando a crescente impermeabilização da área com a implementação de loteamentos e condomínios horizontais na área de estudo.

Diante da contextualização do local, a fim de evitar a interrupção da linha férrea em operação existente, foram adotadas três soluções para os bueiros. A extensão do bueiro simples celular de concreto foi viabilizada após a verificação das condições do bueiro já existente possibilitando a revitalização da caixa coletora presente entre a linha férrea e a Av. Progresso. Por este motivo, a transposição do canal pelo bueiro celular foi realizada sem causar interferências na linha férrea.

A impermeabilização proveniente da duplicação da avenida demandou dispositivos de drenagem (sarjetas) que contribuem para a região do Córrego da Divisa. Por isso, foi implantado um bueiro de greide que capta a demanda de águas pluviais e destina para os bueiros de grota construídos.

Foi dimensionado um bueiro duplo tubular metálico em conjunto com um bueiro simples celular de concreto para atender as vazões provenientes da duplicação. O método não destrutivo foi adotado para execução deste bueiro com o objetivo de causar a mínima interferência na linha férrea. Após a escavação pelo método não destrutivo do corpo do bueiro passar por uma distância segura da linha férrea, optou-se por continuar a escavação de forma mecanizada, com o objetivo de dar celeridade na execução observando que as precipitações no período começariam. Observou-se que todos os controles tecnológico (ensaio de compactação), e topográficos (geométricos) foram realizados afim de garantir a boa execução do projeto e não causar danos ao pavimento construído.

Durante a execução do BDTM pelo método não destrutivo, observou-se uma interferência de corpo de boca de lobo inoperante construída pela empresa executora da linha férrea. Diante do novo dimensionamento, a solução adotada foi pela demolição da boca de lobo.

No decorrer da execução da obra, observou-se a necessidade de realizar algumas intervenções para prevenção de erosões e assoreamentos. Por isso foram implementados um gabião na boca jusante dos bueiros e executado o enrocamento de pedras no canal a montante dos bueiros. Além disso foi feito um plantio de sementes de pastagem para evitar deslizamentos de terra dos taludes próximos a montante dos bueiros.

A partir das análises feitas da execução, observou-se alguns pontos de atenção na forma executiva, especialmente na execução do bueiro duplo tubular metálico, visto que foram tomadas algumas medidas executivas que não constam na especificação de serviço para o método não destrutivo. Mesmo com todo o controle tecnológico envolvido, se faz necessário um monitoramento e manutenção adequados para evitar qualquer tipo de patologia no pavimento, especialmente em períodos do ano onde a chuva apresenta intensidade elevada.

Após cerca de um ano de operação da duplicação da Avenida Progresso pelos usuários, observou-se em vistoria realizada “in loco” a conformidade no funcionamento da boca construída à jusante do bueiro duplo tubular metálico e a funcionalidade do gabião construído para evitar erosões, pois não existem até o momento indicativos deste problema ambiental nas adjacências do local.

Entretanto, foi verificado o surgimento de vegetação muito próxima às bocas à montante dos bueiros e carreamento de materiais que podem causar entupimento do corpo devido à ação das intempéries do período. Por isso, conforme previsto nas especificações de serviço mencionadas ao longo do trabalho, é necessária uma manutenção adequada por meio de limpezas periódicas no local, especialmente nos períodos chuvosos.

Como sugestões para pesquisas futuras, propõe-se os seguintes temas:

- Análise e investigação de pontos suscetíveis a erosão em bueiros;
- Investigação e monitoramento de recalque em corpo de aterro de bueiros;
- Análise do coeficiente de escoamento em função do crescimento de loteamentos em cidades;
- Análise do desempenho de bueiros de acordo com o tempo de retorno dimensionado;

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Gil Carvalho Paulo de. Drenagem rodoviária. Livro livre, 2007. Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/.../Drenagem%20Rodoviária/Apostila%20de%20dren> Acesso em: 25 abr. 2023.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro, 2004.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7187: Projeto de pontes de concreto armado e concreto protendido - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutiva (ABRATT). Diretrizes do Métodos Não Destrutivos - Um guia dos métodos não destrutivos (MND) para instalação, recuperação, reparo e substituição de redes, dutos e cabos subterrâneos com o mínimo de escavação. São Paulo: 2007.
- Agência Goiana de Infraestrutura e Transportes (GOINFRA). ES-DRE 009/2019. Drenagem – Bueiros Tubulares de Concreto. Goiás, 2019.
- BAGIO, B.; BERTOL, I.; FAVARETTTO, N.; GATIBONI, L. C.; ANDRADE, A. P. Relações da erosão hídrica com sistemas de manejo do solo e com comprimento de declive. 2018. Exame de qualificação (Doutorando em CIÊNCIA DO SOLO) - Universidade do Estado de Santa Catarina.
- BERNARDES, Pedro Resende. ANÁLISE TENSÃO X DEFORMAÇÃO DE TUNNEL LINER–ESTUDO DE CASO. 2017.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). NORMA 026/2004. Drenagem – Caixas coletoras - Especificação de serviço. 2004.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). NORMA 024/2004. Drenagem – Bueiros metálicos sem interrupção do tráfego - Especificação de serviço, Rio de Janeiro, 2014
- Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). "Manual de Drenagem de Rodovias." 3ª Edição, 2018.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT). Manual de Hidrologia Básica para Estruturas de Drenagem. 2. ed. Rio de Janeiro, 2005.
- Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes (DNIT). “Manual para atividades ambientais rodoviárias do DNIT”. Rio de Janeiro, 2006.
- Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (DER-SP). "Manual de Drenagem de Rodovias.". São Paulo, 2008.
- DOTTO, Fernando Marcuzzo. Verificação do Dimensionamento de Dispositivos de Drenagem na Travessia Urbana de Santa Maria. 2015. 84 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015. Cap. 1.
- ITACURUBI, Prefeitura Municipal de. Secretaria Municipal de Planejamento e Meio Ambiente. Implantação de bueiros nas estradas de Itacurubi. Rio Grande do Sul, 2017.
- JABÔR, Ademar. Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros. 1ª edição. Rio de Janeiro: Appris, 2017.

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

JABOR, Marcos Augusto. Drenagem de Rodovias. Estudos Hidrológicos e Projetos de Drenagem. Associação Brasileira dos Departamentos de Estrada e Rodagem (ABDER). 2020. Disponível em: https://www.abder.org.br/wp-content/uploads/2021/03/apostila_2020-1.pdf Acesso em: 15 mai. 2023.

JABOR, Marcos Augusto. A Importância da Drenagem na Vida Útil da Rodovia. Associação brasileira dos fabricantes de tubos de concreto (2004). Disponível em: <ftp://ftp.ifes.edu.br/.../Drenagem%20Rodoviária/Apostila%20de%20dren> Acesso em: 15 abr. 2023.

KOERICH, Jessica Schweitzer. Intensidade de precipitação para o dimensionamento pluvial. Alto QI. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://suporte.altoqi.com.br/hc/pt-br/articles/360041258793-Intensidade-de-precipita%C3%A7%C3%A3o-para-o-dimensionamento-pluvial>. Acesso em: 17 abr. 2023.

McCUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W.J. Estimating urban time of concentration, Journal of Hydraulic Engineering, vol. 110, n.7, ASCE, pp 887-904. 1984.

NARESI JÚNIOR, Luiz Antônio. Tunnel Liner e/ou Túnel Bala- Execução e Problemas Típicos durante sua construção por falta de sondagens e eventos não previstos. Congresso Brasileiro de Túneis e estruturas subterrâneas-CBT. São Paulo, 2021.

NASCIMENTO, José Victor Machado. Dimensionamento de bueiros utilizando o software Hec-Ras. 2019.

NOLLA, Delvino. Erosão do Solo. Porto Alegre, 1982. Secretaria da Agricultura, Divisão de Divulgação e Informação Rural

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

PEREIRA, Djalma Martins. Dispositivos de drenagem para obras rodoviárias. Curitiba-PR. Universidade Federal do Paraná, 2009.

ROCHA, Diego Daibert. Avaliação do Projeto de Drenagem de Transposição de Talvegues da Rodovia Municipal que Interliga a Rodovia MG-457 ao Município de Passa Vinte/Minas Gerais. 2013. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Ufjf, Juiz de Fora, 2013.

SARTORI, A.; NETO, F. L.; GENOVEZ, A. M. Classificação hidrológica de solos brasileiros para a estimativa da chuva excedente com o método do serviço de conservação do solo dos Estados Unidos parte 1: Classificação. RBRH. V 10 n.4 Out/Dez 2005, 5-18

SILVA, LM. "Projeto e Avaliação do Sistema de Drenagem Subterrânea sob uma Estrada de Teste no Sul do Brasil." Journal of Transportation Engineering, Volume 143, Edição 1, 2017.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos. Porto Alegre, RS: ABRH. Vol. 10, n. 1 (jan./mar. 2005), p. 5-23, 2005.

TUCCI, C. E. M. Drenagem urbana. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 1995.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: Ciência e Aplicação. Porto Alegre: Ed. UFRGS/ABRH, 4. ed., 2012

VERDUM, Roberto; VIEIRA, Carmem Lucas; CANEPPELE, Jean Carlo Gessi. Métodos e técnicas para o controle da erosão e conservação do solo. 2016.

VESSELY, Mark. Geotechnical Asset Management for Transportation Agencies, Volume 1: Research Overview. 2019.

YIN, R. K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.