



**REQUALIFICAÇÃO DA TRAVESSIA DO RIBEIRÃO
DAS MORTES NA AV. ANTÔNIO SCODELER**
RELATÓRIO TÉCNICO DE OUTORGA DE ÁGUAS
SUPERFICIAIS – POUSO ALEGRE/MG

JANEIRO DE 2024

Referências Cadastrais

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Requalificação da Travessia do Ribeirão das Mortes na Av. Antônio Scodeler – Relatório Técnico De Outorga De Águas Superficiais – Pouso Alegre/MG
Contato	Renato Garcia de Oliveira Dias
E-mail	obras@pousoalegre.mg.gov.br
Líder do Projeto	[REDACTED]
Coordenador	[REDACTED]
Projeto/centro de custo	Contrato nº 167/2021
Data do documento	12/01/2024

Responsável Técnico – Elaboração e Coordenação

[REDACTED]	[REDACTED]
Engenheiro Hídrico	[REDACTED]

Isenção de Responsabilidade:

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

Este documento foi preparado pela Dac Engenharia com observância das normas técnicas de Pouso Alegre e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Dac Engenharia isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	1
2. JUSTIFICATIVA DA INTERVENÇÃO	2
3. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO EMPREENDIMENTO.....	3
4. CARACTERIZAÇÃO DO CANAL.....	5
5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS	12
5.1. ÁREA DE DRENAGEM.....	12
5.2. METODOLOGIA APLICADA	13
5.2.1. CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES.....	14
5.2.2. VAZÕES EXTREMAS	15
6. ESTUDOS HIDRÁULICOS	17
7. DIMENSIONAMENTO DO CANAL EM GABIÃO.....	18
7.1. Equação de Manning	18
7.2. Equação da Continuidade.....	19
7.3. Rugosidade	19
7.4. Velocidade Máxima.....	20
7.5. Borda Livre	20
7.6. Dimensionamento do Canal.....	20
8. DIMENSIONAMENTO DE TRAVESSIA CELULAR	24
8.1. Equacionamento	24
8.2. Dimensionamento	25
8.3. Rugosidade	25
8.4. Velocidade Admissível	25
8.5. Cálculo da Declividade Crítica	25
8.6. Cálculo da Vazão Admissível no Regime Subcrítico.....	25
8.7. Lâmina D'água de Projeto	26
8.8. Cálculo da Velocidade de Projeto.....	26
9. ESTUDO DO IMPACTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO	27
10. CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DO REVESTIMENTO	32
11. PROJETO CONCEITUAL.....	33
12. INTERVENÇÕES AMBIENTAIS	34

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
ANEXO I – PROJETO ARQUITETÔNICO	37
ANEXO II – PROJETO DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS	38
ANEXO III – PROJETO DE TERRAPLANAGEM – GABIÃO.....	39
ANEXO iv –.....	40
PROJETO DE TERRAPLANAGEM – COMPATIBILIZAÇÃO.....	40
ANEXO V – PERFIL DA LINHA D’ÁGUA.....	41

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Vazão específica	16
Equação 2 – Equação de Manning	18
Equação 3 – Raio Hidráulico	18
Equação 4 – Declividade	19
Equação 5 – Continuidade	19
Equação 6 – Vazão	19
Equação 7 – Rugosidade equivalente.....	20
Equação 8 – Declividade Crítica	24
Equação 9 – Vazão admissível regime subcrítico.....	24
Equação 10 – Velocidade no regime subcrítico	24
Equação 11 – Vazão admissível no regime supercrítico	24
Equação 12 – Velocidade no regime supercrítico.....	24
Equação 13 – Equação da continuidade.....	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização do empreendimento	3
Figura 2 – Sistema de Drenagem Projetado	2
Figura 3 – Mapa de ocupação marginal no local da canalização	6
Figura 4 – Mapa de ocupação marginal à montante e à jusante da canalização.....	7
Figura 5 - Mapa de ocupação marginal à montante da canalização	8
Figura 6 - Mapa de ocupação marginal à jusante da canalização.....	9

Figura 7 – Localização da bacia de estudo.....	12
Figura 8 – Localização da bacia do posto selecionado	13
Figura 9 - Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600	14
Figura 10 - Curva de permanência para o posto 62584600	15
Figura 11 - Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3.....	16
Figura 12 - Seção do canal	20
Figura 13 - Seção com perímetro molhado e área molhada.....	21
Figura 14 - Altura de lâmina d'água	22
Figura 15 - Curva nível d'água por vazão	23
Figura 16 - Lâmina d'água de projeto.....	26
Figura 17 - Localização das seções analisadas no estudo.....	27
Figura 18 - Seção transversal do primeiro trecho analisado.....	30
Figura 19 - Seção transversal do segundo trecho analisado.....	30
Figura 20 - Seção transversal do terceiro trecho analisado.....	31
Figura 21- Seção transversal do quarto trecho analisado	31
Figura 22 - Mapa do trecho a ser canalizado e indivíduos a serem suprimidos.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos trechos do sistema de drenagem.....	3
Tabela 2 – Resumo das características hidráulicas dos trechos – seção transversal e longitudinal.....	4
Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de início e fim da canalização	5
Tabela 4 - Cálculo do Índice de Impacto Geral, preenchimento Anexo Deliberação Normativa COPAM nº 95/2006	10
Tabela 5 – Resultados obtidos para o posto 62584600.....	15
Tabela 6 – Dados de entrada e resultado dos parâmetros das seções do leito natural	28
Tabela 7 – Parâmetros obtidos para depois da intervenção.....	28

1. APRESENTAÇÃO

Este documento constitui o Relatório Técnico para Outorga de Água Superficial, solicitado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM, contendo informações necessárias à análise da Outorga, considerando o Termo de Referência disponibilizado pelo Órgão, *Código 15 – Canalização e/ou Retificação de Curso de Água*.

O presente projeto é parte integrante do processo para execução da obra de requalificação da travessia do Ribeirão das Mortes, situado na Avenida Antônio Scodeler, bairro Fatima III, no município de Pouso Alegre/MG. A incorporação do empreendimento apresenta por objetivo central o atendimento à população do bairro, promovendo a condução e deságue das águas superficiais, contribuindo, assim, para melhoria da qualidade de vida e evitando riscos de enchentes.

Deste modo, o documento apresenta as informações referentes ao curso de água no trecho de intervenção, assim como as metodologias consideradas para os estudos hidrológicos e hidráulicos.

O relatório foi elaborado com base na legislação ambiental vigente e normas técnicas existentes que tratam do assunto, considerados suficientes para o efetivo controle ambiental da atividade proposta.

2. JUSTIFICATIVA DA INTERVENÇÃO

A Avenida Antônio Scodeler conecta os bairros Fátima III, Loteamento São Pedro, Faisqueira, Monte Azul e Bella Itália, que estão localizados à nordeste da rodovia BR 459, ao restante da cidade. O fluxo intenso na via é gerado pelos próprios moradores dos bairros, além de uma parcela significativa de veículos pesados que utilizam a via devido a existência de empresas e médias indústrias instaladas na região, o que sobrecarrega a via e deteriora o pavimento implantado.

Foram identificados no local de intervenção, através de vistorias em campo, alguns gargalos de drenagem, pontos que geram empoçamentos e locais onde ocorre descarte irregular, acarretando em danos aos proprietários das edificações limítrofes à avenida. Além disso, moradores do bairro Faisqueira realizaram protestos pacíficos na Av. Antônio Scodeler, a fim de buscar respostas quanto aos problemas de alagamentos na região, que são recorrentes e causam prejuízos físicos e problemas de danos morais aos residentes locais, cujos são diretamente afetados pelas águas advindas de chuvas intensas.

O bueiro existente se encontra em condições precárias, com sua função prejudicada, impactando no escoamento do corpo d'água, implicando na necessidade de substituição. A requalificação da travessia será realizada em uma seção do curso d'água denominado Ribeirão das Mortes, onde toda a água coletada escoará para este canal por meio de uma ala esconsa dupla. O projeto ainda conta com colchão reno e muro de gabião, dos tipos colchão e caixa, protegendo e evitando riscos de efeitos erosivos e/ou solapamentos.

O nível de planejamento do projeto é compatível com os anseios de Pouso Alegre e corresponde às expectativas de crescimento do município. O empreendimento representa assim, uma obra de interesse municipal, resultando em ganhos e benefícios à sociedade. No que diz respeito à gestão ambiental, são seguidas rigorosamente as normas e resoluções pertinentes ao processo de Intervenção Ambiental em Área de Preservação Permanente com supressão vegetal, atendendo aos preceitos da autoridade ambiental competente, sendo este, o COMDEMA – Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente de Pouso Alegre.

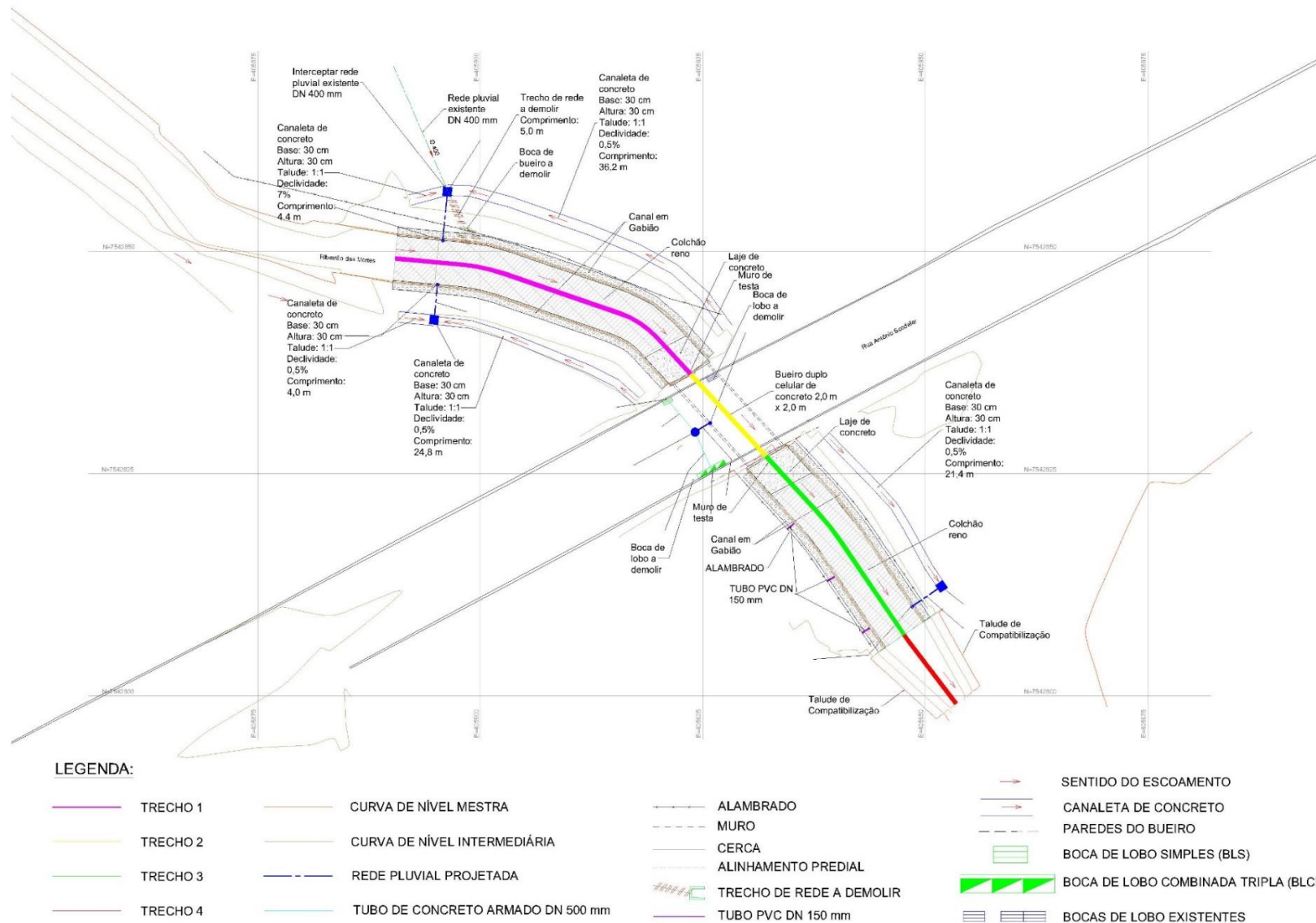


Figura 2 – Sistema de Drenagem Projetado
Fonte: DAC Engenharia (2024)

apresenta o projeto arquitetônico do empreendimento, sendo os detalhes apresentados no Anexo I.

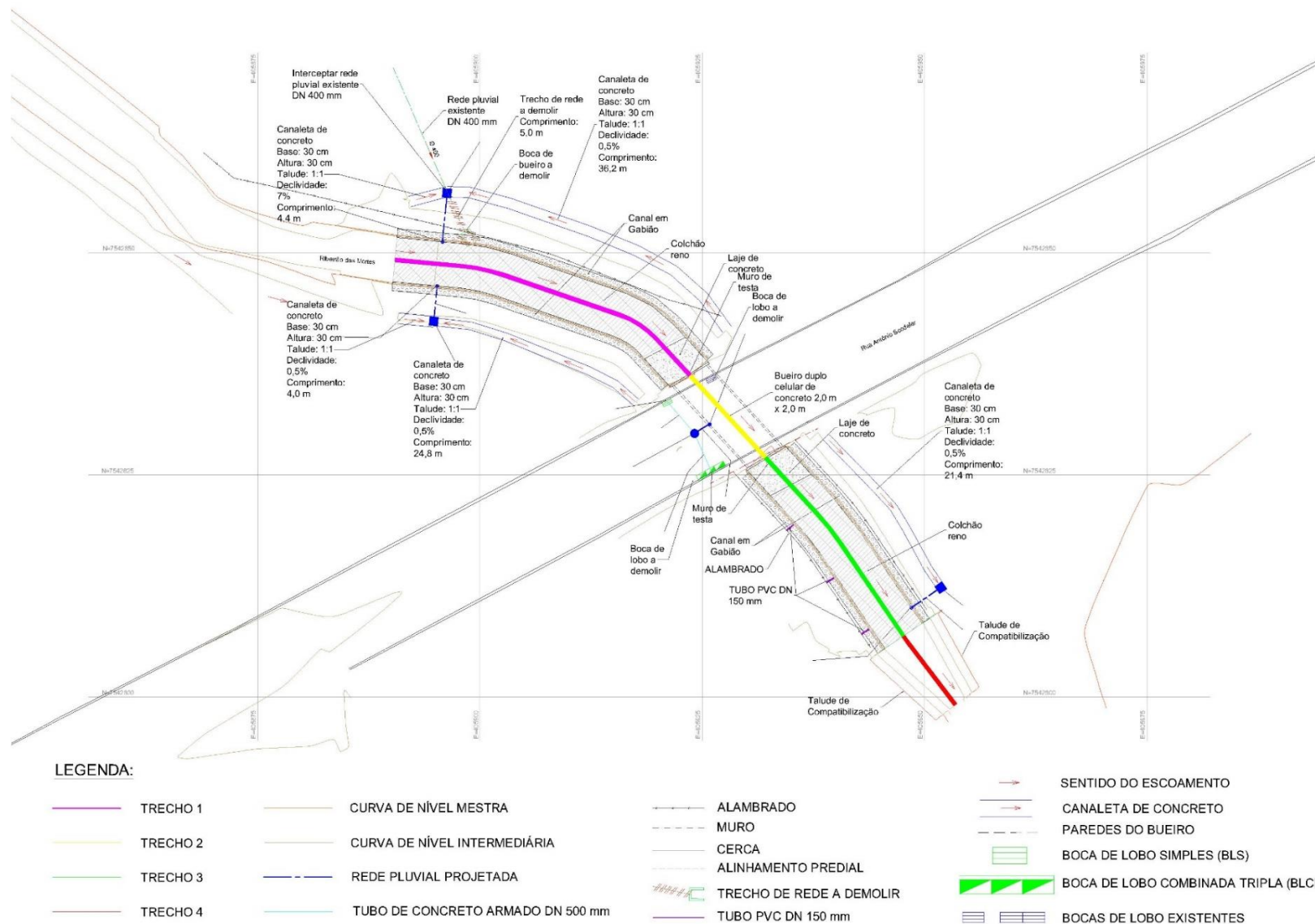


Figura 2 – Sistema de Drenagem Projetado
 Fonte: DAC Engenharia (2024)

O sistema de drenagem objeto de Outorga, foi seccionado em quatro trechos, dos quais, é apresentado suas respectivas informações na Tabela 1. Os trechos são apresentados na Tabela 2. Os trechos mencionados apresentam as características **longitudinais**, bem como sua extensão, tipo de estrutura adotada e geometria da seção.

Tabela 1 – Características dos trechos do sistema de drenagem

Trecho	Seção	Estrutura Adotada	Cumprimento (m)
Trecho 1	Retangular	Canal com gabião caixa e colchão reno	36,776
Trecho 2	Quadrada	Bueiro duplo celular de concreto	12,50
Trecho 3	Retangular	Canal com gabião caixa e colchão reno	25,484
Trecho 4	Trapezoidal	Talude de terra	9,706

O sistema de drenagem projetado para a requalificação da Avenida Antônio Scodeler é composto pela canalização de um trecho natural (Trecho 1 - Figura 2) a montante da travessia, de seção constante retangular, com revestimento em gabiões do tipo caixa nas margens e colchão reno no fundo da calha do rio. Nas paredes laterais do canal em gabião, serão realizados furos para conectar tubos de concretos de diâmetro 500 mm, que captam as águas pluviais provenientes das canaletas alocadas paralelamente aos muros de gabião, que tem como função a proteção dos mesmos.

Após o trecho canalizado, foi alocado um bueiro esconso celular duplo de concreto armado (Trecho 2 - Figura 2), com capacidade de descarga superior a vazão de projeto, de comprimento igual ao do bueiro da travessia atual e escondidade de 15º em relação ao eixo normal da Avenida Antônio Scodeler. O bueiro é composto por duas linhas, sendo cada linha de formato quadrado, com dimensões internas 2m x 2m. Na metade do comprimento da linha direita do bueiro, será conectado um tubo de concreto de diâmetro 600mm, que transportará as águas pluviais coletadas pelo sistema de microdrenagem alocado na Avenida Antônio Scodeler. É importante ressaltar que neste trecho que trata o bueiro celular duplo, já fora obtido autorização emitida pelo IGAM, para a modalidade de Uso Isento de Obtenção de Outorga para travessia de bueiro.

O trecho a jusante (Trecho 3 - Figura 2) da travessia existente também será canalizado, de seção retangular constante e igual a seção do trecho canalizado a montante, com revestimento em gabiões do tipo caixa e colchão reno. Na parede lateral esquerda do canal em gabião, será realizado furo para conectar um tubo de concreto de diâmetro 500

mm, que conduz a água pluvial captada pela canaleta alocada paralelamente a parede esquerda do canal em gabião. Na parede lateral direita do canal em gabião, serão realizados furos para conectar 3 tubos de PVC com diâmetro 150mm, responsáveis por captar o escoamento superficial paralelo ao muro alambrado.

Considerando a vazão de projeto para tempo de retorno de 50 anos, projetou-se o sistema de drenagem para funcionar em escoamento livre, de forma que os trechos do sistema de drenagem podem ser caracterizados como **canais artificiais abertos**. A canalização em gabiões caixa e reno não prevê mudanças de seção geométrica ao longo dos trechos canalizados, salvo na transição entre a canalização e as bocas de montante e jusante do bueiro, que serão realizadas através de muros de testa.

Na Tabela 2 é apresentado o resumo das características hidráulicas dos trechos do sistema de drenagem projetado. As informações acerca de largura e altura referem-se as características da seção geométrica transversal dos trechos em análise. As informações acerca de declividade e rugosidade referem-se ao perfil longitudinal dos trechos em análise. As demais informações referem-se à capacidade hidráulica dos trechos.

Os estudos hidrológicos e hidráulicos referentes aos dados observados nas Tabela 1e Tabela 2 serão apresentados nos próximos tópicos.

Tabela 2 – Resumo das características hidráulicas dos trechos – seção transversal e longitudinal

Trecho	Largura (m)	Altura (m)	Declividade (m/m)	Rugosidade	Vazão de Projeto (m³/s)	Vazão Admissível (m³/s)	Lâmina D'água (m)	Velocidade (m/s)
1	5	3,27	0,0032	0,0285	11,17	37,34	1,23	1,77
2	4,6	2,4	0,005	0,015	11,17	16,59	1,13	2,47
3	5	3,27	0,0032	0,0285	11,17	37,34	1,23	1,77
4	Base menor = 1,678	2,84	0,0082	0,035	11,17	26,46	1,54	2,27
	Base maior = 7,36							

4. CARACTERIZAÇÃO DO CANAL

Para que seja possível a realização das obras de instalação do bueiro celular duplo e do canal trapezoidal de gabião, com colchão de reno, será necessária a canalização aberta de um trecho correspondente à 84,466 metros, porém apenas 74,76 metros da canalização aberta serão canalizados em seção retangular com gabião caixa e colchão reno, sendo esse comprimento referente entre os trechos 1 e 3 da Tabela 1. O restante da canalização aberta, de comprimento igual a 9,706 metros, refere-se ao talude projetado para realizar a transição entre as seções transversais da canalização em gabião e do curso d'água natural. A canalização aberta corresponde à implantação do muro de gabião nas margens do ribeirão das Mortes, assim como a instalação de colchão reno no fundo da calha do ribeirão, a fim de proteger margens de cursos d'água, controlando o processo erosivo que ocorre atualmente no local. A implantação do projeto implicará na conformação do canal em formato trapezoidal retangular.

As coordenadas dos pontos de início e fim da canalização encontram-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Coordenadas dos pontos de início e fim da canalização

Início da intervenção	
Longitude	7542849.708
Latitude	405890.396
Fim da intervenção	
Latitude	7542806.00
Longitude	405947.00

Fonte: DAC Engenharia (2024).

A ocupação marginal local é apresentada na Figura 3. Analisando, 30 metros de largura ao redor do córrego, verifica-se que a área local, em sua grande maioria, consiste em cobertura de uso urbano, possuindo residências, comércios diversos, clínicas médicas e lotes para construção. A área de ocupação marginal abrange, também, uma Área de Preservação Permanente (APP), que se localiza dentro da área de intervenção para canalização.

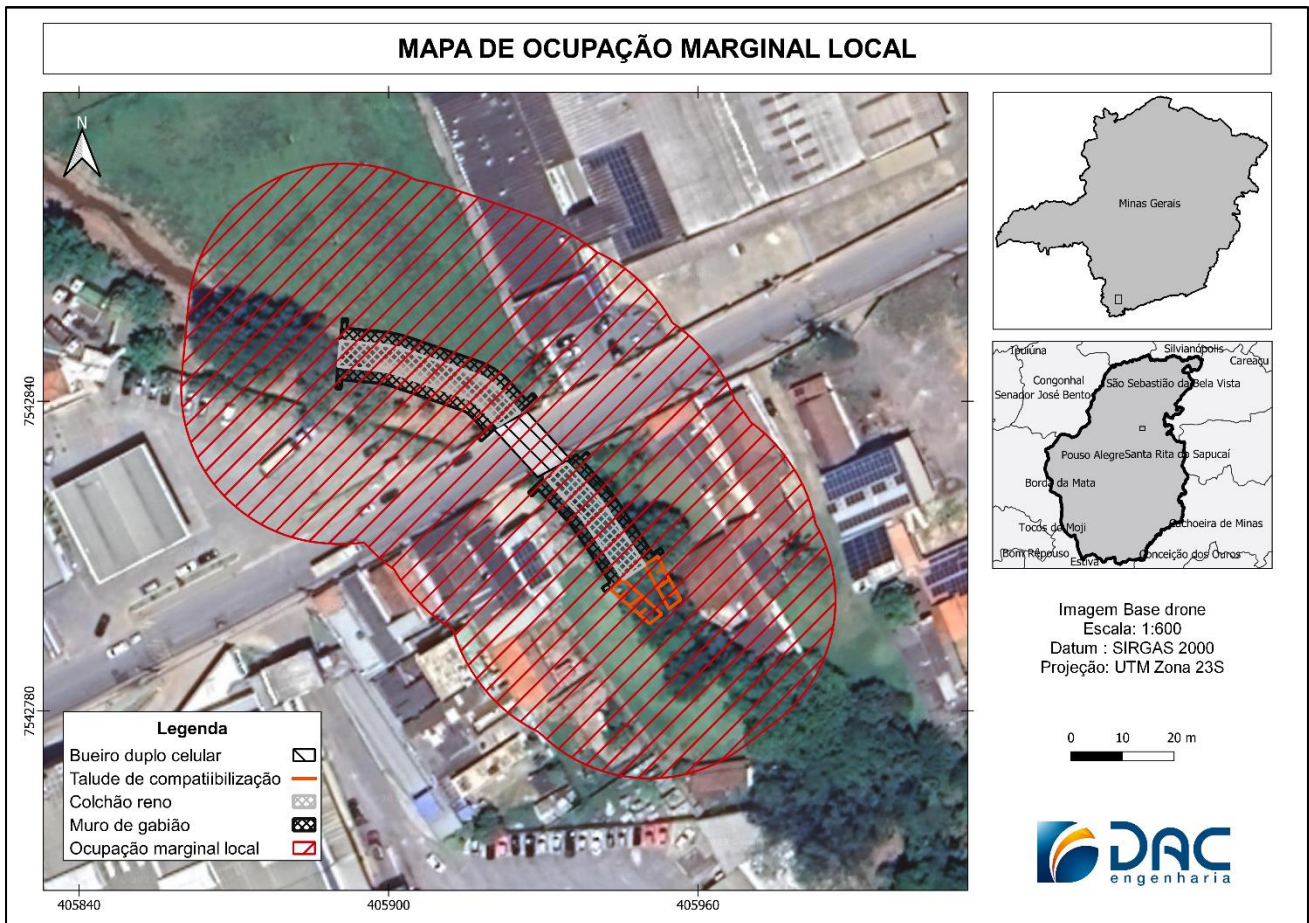


Figura 3 – Mapa de ocupação marginal no local da canalização

Fonte: DAC Engenharia (2024).

O mapa da Figura 4 apresenta a ocupação à jusante e à montante do ribeirão, verificando que, em um raio de 500 metros ao redor do ponto de início e fim da canalização, a ocupação é urbana (COPAM, 2006).

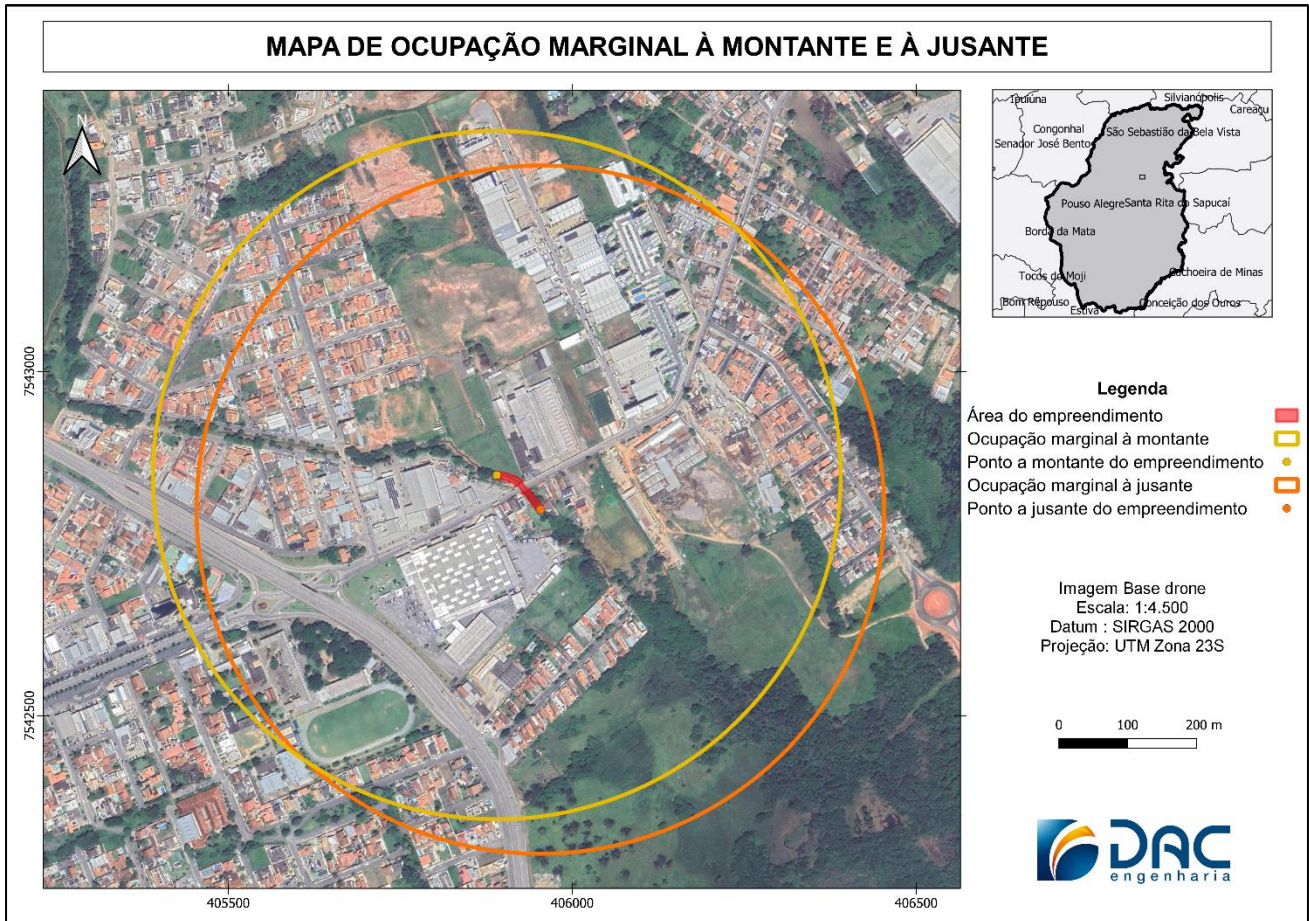


Figura 4 – Mapa de ocupação marginal à montante e à jusante da canalização

Fonte: DAC Engenharia (2024).

Visto que a canalização se refere à cursos d'água de sistemas de drenagem urbana, é necessário o preenchimento do anexo único da Deliberação Normativa COPA nº 95/2006, que apresenta o cálculo do índice de impacto geral da intervenção ambiental. O resultado do índice de impacto geral se encontra na Tabela 4, junto das taxas de ocupação a montante e jusante. Nas Figura 5 e Figura 6 é possível visualizar os dados de ocupação (%) de cada uma das localizações, confirmando o domínio urbano em ambas.

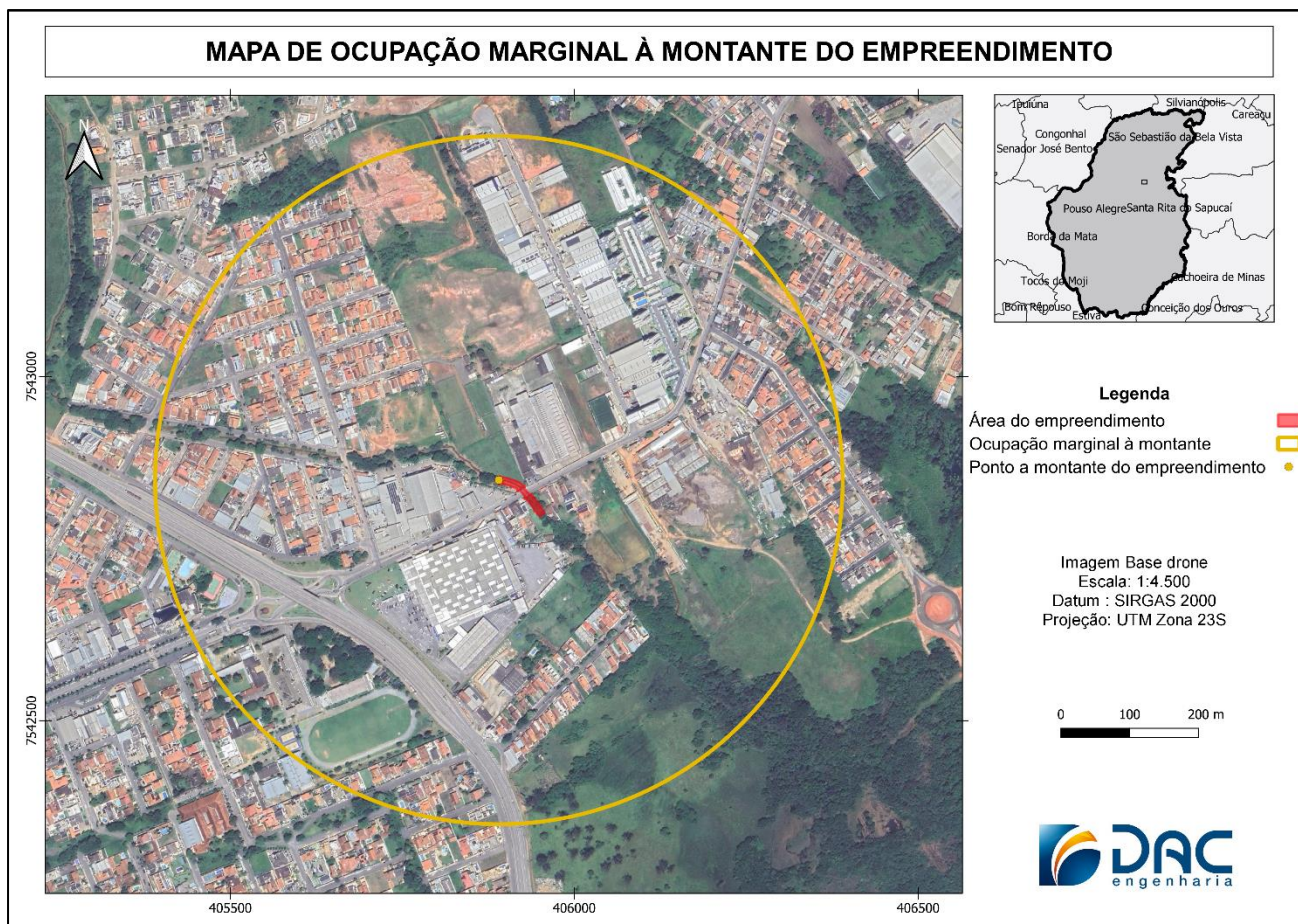


Figura 5 - Mapa de ocupação marginal à montante da canalização
Fonte: DAC Engenharia (2024).

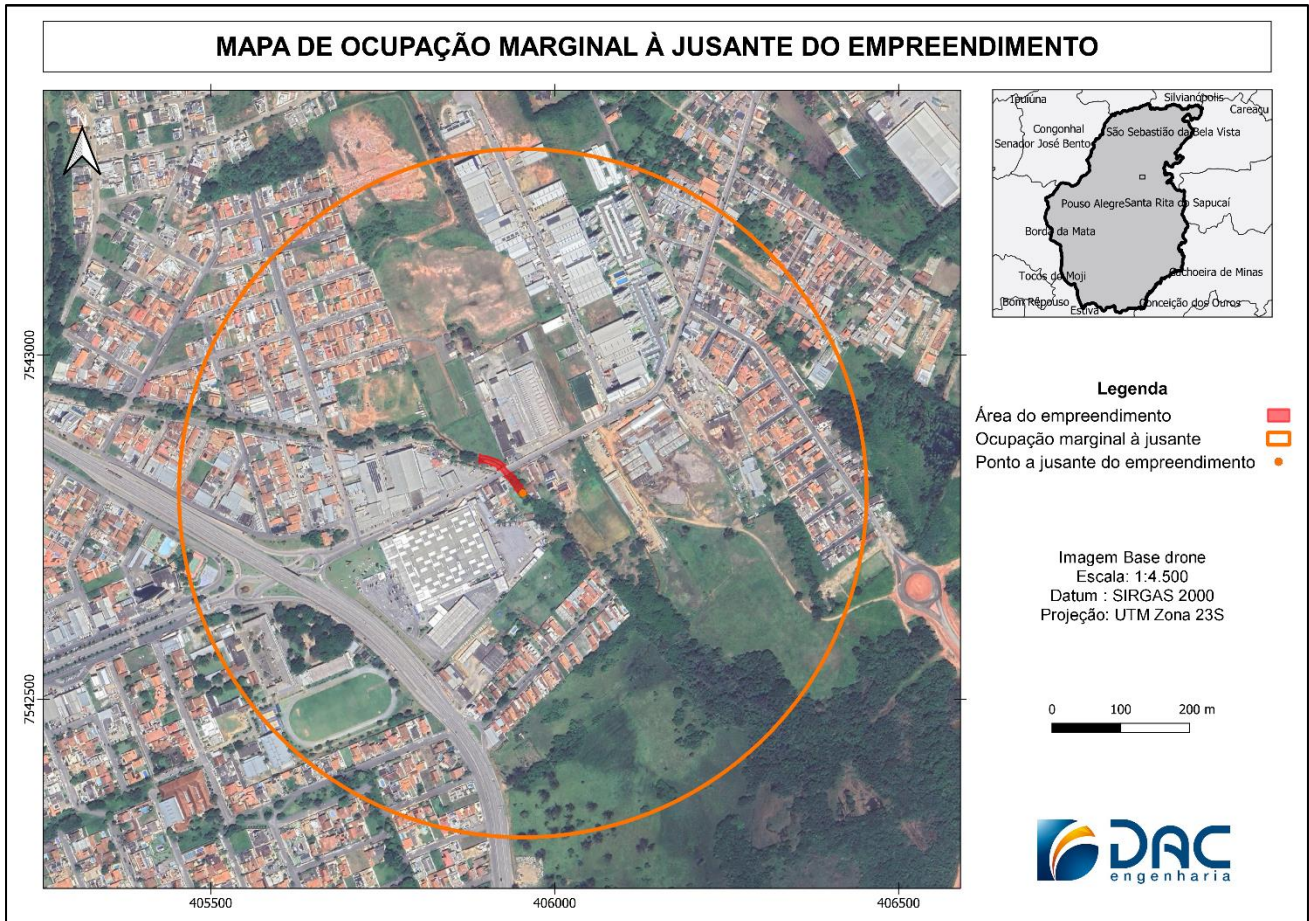


Figura 6 - Mapa de ocupação marginal à jusante da canalização
Fonte: DAC Engenharia (2024).

Tabela 4 - Cálculo do Índice de Impacto Geral, preenchimento Anexo Deliberação Normativa COPAM nº 95/2006

Localização	Ocupação marginal					Eventos de inundação			Ocorrência de focos erosivos		
	Fator de ponderação	Tipo	Taxa de ocupação [%]	Fator de impacto	Indicador de impacto	Fator de ponderação	Fator de impacto anual=100 eventual=200 não ocorre=300	Indicador de impacto	Fator de ponderação	Fator de impacto sim=100 não=200	Indicador de impacto
Montante	0.1	Urbana	85	1	8.5	0.1	100	10	0.1	100	10
		Industrial	0	2	0						
		Veg. Nativa	15	4	6						
		Não ocup.	0	3	0						
			Índice de impacto montante		14.5						
Local	0.5	Urbana	100	1	50	0.3	100	30	0.3	100	30
		Industrial	0	2	0						
		Veg. Nativa	0	4	0						
		Não ocup.	0	3	0						
			Índice de impacto local		50						
Jusante	0.4	Urbana	80	1	32	0.6	100	60	0.6	100	60
		Industrial	0	2	0						
		Veg. Nativa	20	4	32						
		Não ocup.	0	3	0						
			Índice de impacto jusante		64		100			100	
			Índice de impacto		128.5						
			Índice de impacto geral		328.5						

De acordo com a Tabela 4, o resultado do índice de impacto geral foi igual a 328,5. A classificação da intervenção ambiental é determinada pelo artigo 3º da DN COPAM nº 95/2006, que estabelece que:

Art. 3º – As intervenções em cursos d’água de sistemas de drenagem urbana serão definidas, conforme as seguintes categorias, classificadas em função do Índice de Impacto Geral obtido pela aplicação da Tabela do Anexo Único:
I – Classe A: quando o Índice de Impacto for menor ou igual a 900;
II – Classe B: quando o Índice de Impacto for menor ou igual a 695;
III – Classe C: quando o Índice de Impacto for menor ou igual a 455;
IV – Classe D: quando o Índice de Impacto for menor ou igual a 335.
(COPAM, 2006)

Portanto, o impacto do empreendimento pode ser classificado como **“IV – Classe D: quando o índice de Impacto for menor ou igual a 335”**. Sendo assim, para intervenções ambientais de Classe D, segundo o artigo 6º da referida Deliberação Normativa:

Art. 6º – Fica proibida a intervenção em seção fechada empreendimentos de canalização, salvo no caso de empreendimento enquadrado na classe D, conforme disposto pelo art. 3º desta Deliberação Normativa, desde que expressamente autorizada pelo COPAM. (COPAM, 2006)

Logo, conforme a Deliberação Normativa COPAM nº 95/2006, **o empreendimento é passível de autorização.**

5. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

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

5.1. ÁREA DE DRENAGEM

A área da bacia hidrográfica, ou área de contribuição, é a região de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais e subsuperficiais para um único ponto de saída. Usualmente, expressa-se em quilômetros quadrados (km²) ou em hectares (ha). A área de estudo está localizada no município de Pouso Alegre – MG, cuja área de drenagem é de 22,3 km², e perímetro de 28,7 km. A Figura 7 apresenta a área de drenagem do local de estudo.

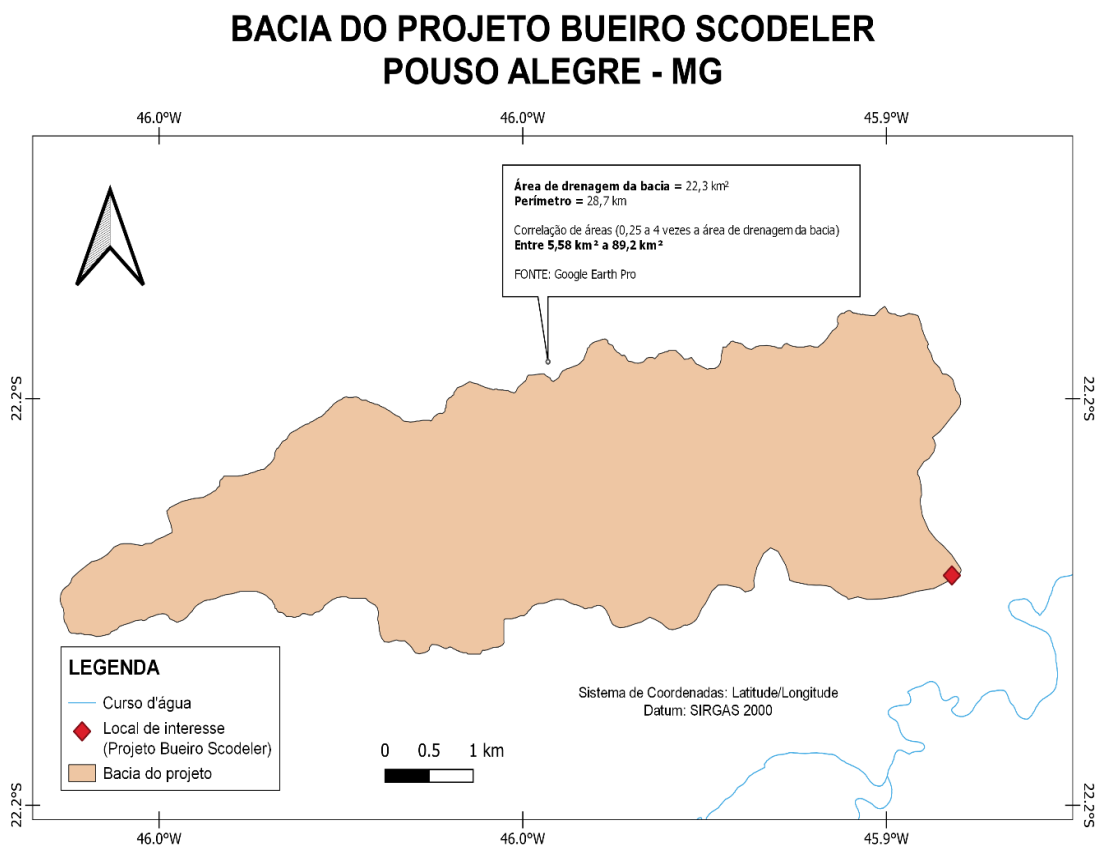


Figura 7 – Localização da bacia de estudo
Fonte: DAC Engenharia (2024).

5.2. METODOLOGIA APLICADA

Para o cálculo das vazões máximas, utilizou-se análise estatística. Foram pesquisados os postos fluviométricos com correlação entre áreas de 0,25 a 4 vezes, em relação à bacia do projeto, na plataforma HIDROWEB, da Agência Nacional de Águas (ANA), e depois os dados modelados por meio do software SisCAH (Sistema Computacional para Análise Hidrológica), do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Uma vez baixados os dados em formato .MDB (Access), estes foram processados no SisCAH, a fim de obter as vazões máximas, as hidrógrafas, as curvas de permanências para o posto fluviométrico selecionado, para seguir com o comparativo entre as vazões através dos métodos existentes.

O posto 62584600 – FOZ RIBEIRÃO DAS POSSES (MG), localizado no município de Extrema (MG), possui 6 anos de dados (11/2008-12/2014), sem falhas em sua série histórica. A área de drenagem do posto é de 12 km². A Figura 8 apresenta a bacia, com a localização do posto fluviométrico.

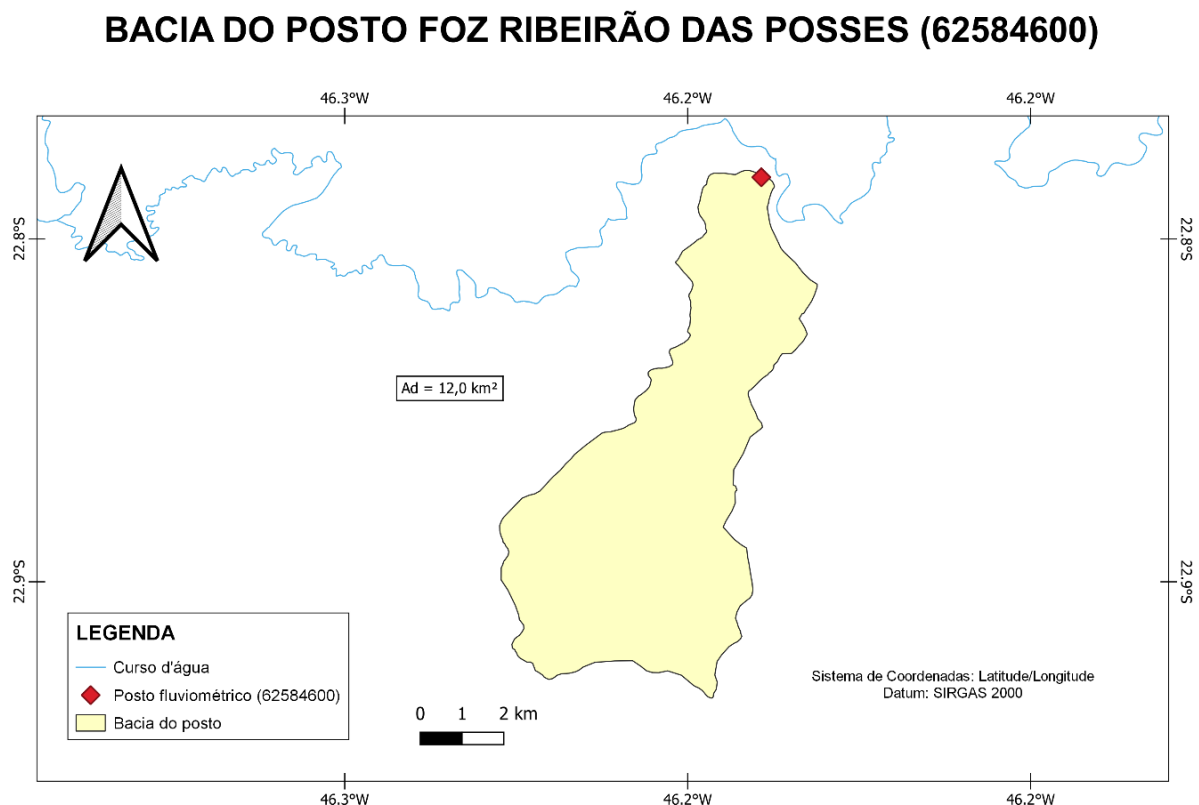


Figura 8 – Localização da bacia do posto selecionado
Fonte: DAC Engenharia (2024).

A bacia do posto FOZ RIBEIRÃO DAS POSSES foi a escolhida para o prosseguimento com o estudo hidrológico, por apresentar a forma da bacia mais alongada, semelhante à bacia do projeto.

A hidrógrafa, ou hidrograma, é a representação, por meio de gráfico, da vazão que passa por uma determinada seção, ou ponto de controle, em relação ao tempo. Para a sua caracterização, é considerado o registro dos dados da série histórica. A seguir, na Figura 9, está representada a hidrógrafa para o posto selecionado.

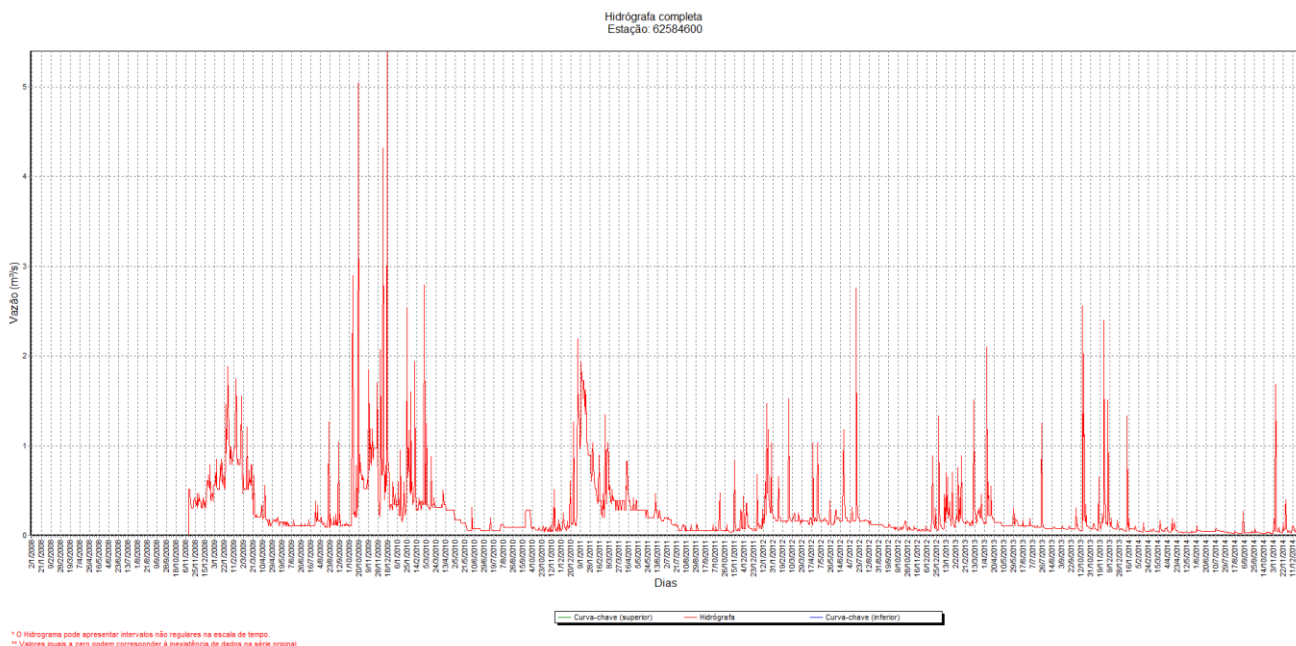


Figura 9 - Hidrógrafa do posto fluviométrico 62584600
Fonte: DAC Engenharia (2024).

5.2.1. CURVA DE PERMANÊNCIA DE VAZÕES

A curva de permanência é um gráfico cuja função mostra a caracterização da frequência da ocorrência de vazões, permitindo a avaliação da disponibilidade hídrica frente às demandas de uma bacia. Ela é definida como sendo a relação entre as vazões médias (diárias, mensais ou anuais, geralmente) e a sua frequência, fornecendo, assim, a porcentagem que uma determinada vazão é igualada ou superada ao longo do tempo. Na sequência, é apresentada a curva de permanência para o posto 62584600 (Figura 10).

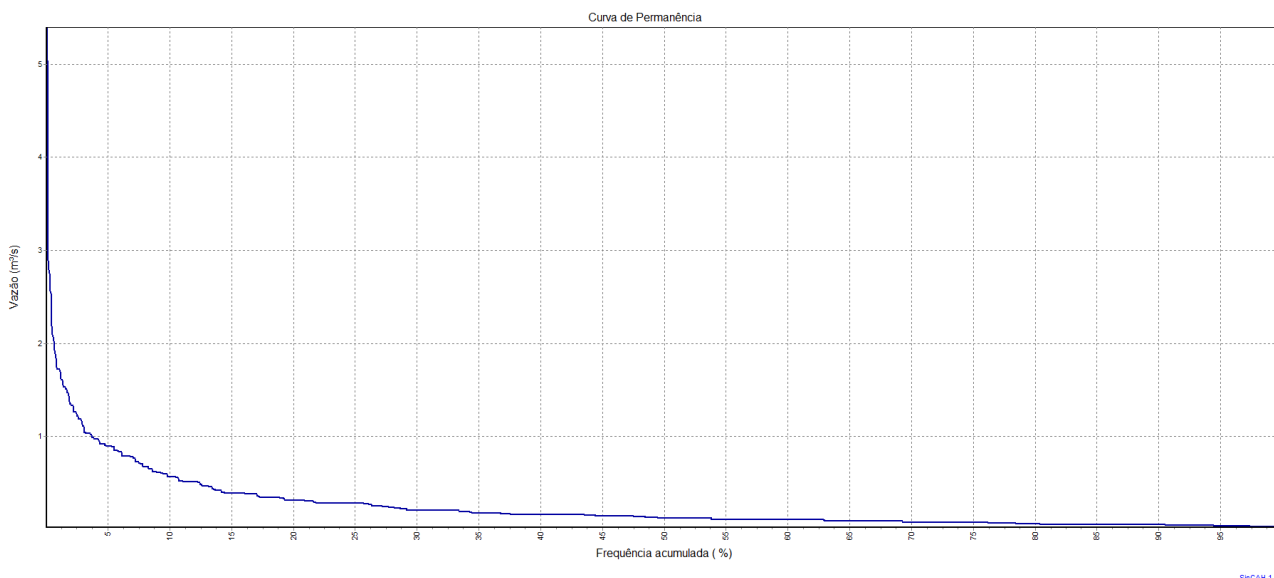


Figura 10 - Curva de permanência para o posto 62584600
 Fonte: DAC Engenharia (2024).

5.2.2. VAZÕES EXTREMAS

A vazão máxima foi calculada através de 5 métodos diferentes, considerando os dados do posto fluviométrico selecionado para o projeto: i) Gumbel; ii) Pearson 3; iii) Log Pearson 3; iv) Log Normal 2 e v) Log Normal 3. Tais metodologias foram modeladas no SisCAH, para a obtenção dos gráficos de vazão máxima, da amplitude do intervalo de confiança e do erro padrão.

A Tabela 5 a seguir apresenta os resultados para a vazão máxima (evento), a amplitude do intervalo e o erro padrão para cada método.

Tabela 5 – Resultados obtidos para o posto 62584600

Distribuição	Evento (m³/s)	Amplitude do Intervalo de Confiança	Erro Padrão
Gumbel	8,14	10,2148	2,61
Pearson 3	6,51	23,9094	6,1
Log Pearson 3	6,01	7,3006	1,86
Log Normal 2	6,31	8,3482	2,13
Log Normal 3	6,19	10,0266	2,56

Na Figura 11 é apresentado o resultado obtido para a distribuição Log Pearson 3, escolhida devido à menor amplitude de intervalo de confiança e menor erro padrão apresentados, conforme destacado na Tabela 5.

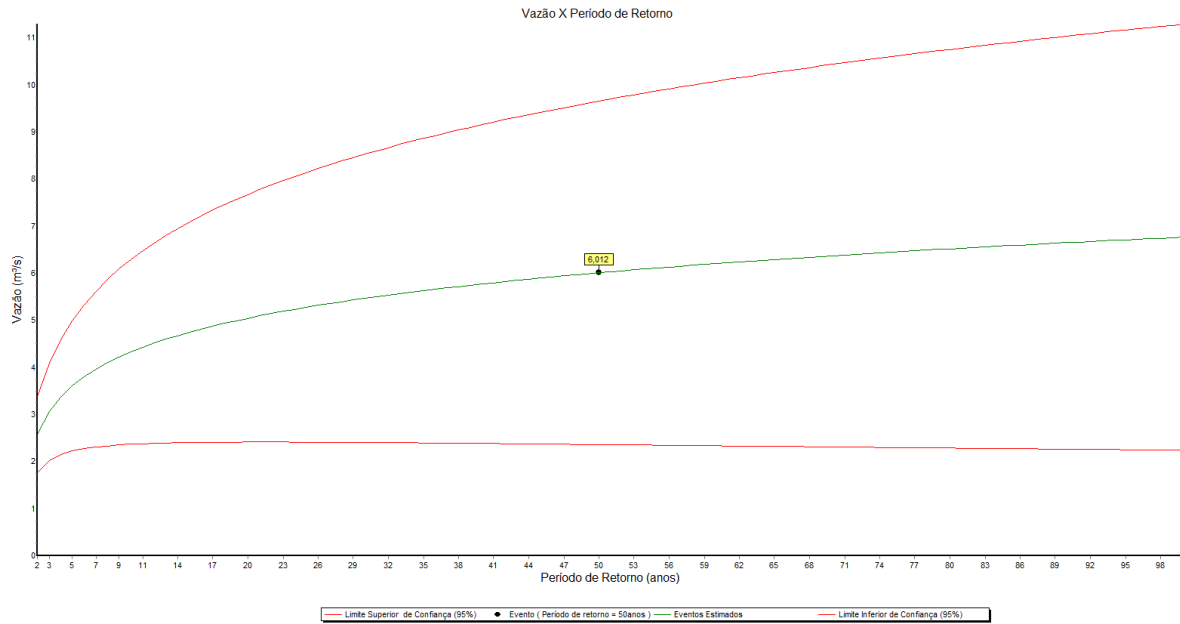


Figura 11 - Resultado da vazão máxima através da distribuição de Log Pearson 3
 Fonte: DAC Engenharia (2024).

Pela Figura 11, observa-se que a vazão máxima obtida por Log Pearson 3 foi de 6,012 m³/s para um período de retorno de 50 anos. A vazão específica é o quociente entre a vazão máxima obtida (em m³/s) através do método de Log Pearson 3 – considerado para o estudo – pela área de drenagem (em km²) do posto fluviométrico selecionado, conforme a Equação 1 – Vazão específica

a seguir.

$$Q_{específica} = \frac{Q_{posto}}{Ad_{posto}}$$

Equação 1 – Vazão específica

A vazão específica obtida foi de 0,50 l/s/km². Sendo a área de drenagem da bacia do projeto de 22,3 km², multiplicou-se o valor encontrado pela vazão específica calculada, obtendo-se então a vazão de projeto de 11,17 m³/s.

6. ESTUDOS HIDRÁULICOS

Nesse tópico, será descrito as metodologias e resultados obtidos para o dimensionamento hidráulico das estruturas de drenagem na área de estudo. Os estudos completos de drenagem se encontram no Anexo II.

7. DIMENSIONAMENTO DO CANAL EM GABIÃO

Para a canalização de curso d'água em análise, foi adotado canal de formato retangular e de seção aberta, sendo suas paredes revestidas com gabião e seu leito revestido com colchão reno. A extensão do trecho a ser canalizado é de 74,46 m, sendo classificado como canal aberto de seção retangular constante ao longo de todo o seu comprimento.

O equacionamento que será apresentado a seguir refere-se a escoamentos em regime permanente e uniforme, válido quando as características hidráulicas altura (h), vazão (Q) e velocidade (V) são constantes no tempo (regime permanente) e ao longo do percurso (regime uniforme), com o escoamento ocorrendo em seção aberta (parte do perímetro molhado mantém-se em contato com a atmosfera).

7.1. Equação de Manning

A formula de Manning é apresentada pela Equação 2.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

Equação 2 – Equação de Manning

Onde:

- V é a velocidade média (m/s);
- n é o coeficiente de rugosidade de *Manning*;
- i é a declividade média longitudinal (m/m);
- R_H é o raio hidráulico (m).

O raio hidráulico, definido pelo quociente da área molhada pelo perímetro molhado da seção do escoamento.

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

Equação 3 – Raio Hidráulico

Com:

- R_H é o raio hidráulico (m);
- A_m é a área molhada (m²);
- P_m é o perímetro molhado (m).

A declividade média do trecho do canal em análise é o quociente entre o desnível do fundo do canal (diferença de cotas entre montante e jusante Δh , em metro) e o seu comprimento (L) em metro.

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

Equação 4 – Declividade

7.2. Equação da Continuidade

A equação da continuidade é apresentada pela Equação 5.

$$Q = V \cdot A_m$$

Equação 5 – Continuidade

Onde:

- V é a velocidade média (m/s);
- A_m é a área molhada (m²);
- Q é a vazão (m³/s).

Substituindo a Equação 2 na Equação 5, obtém-se:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R_H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i} \cdot A_m$$

Equação 6 – Vazão

A partir da Equação 6, é possível obter a vazão do canal em função do coeficiente de rugosidade de *Manning*, do raio hidráulico, da declividade média e da área molhada.

7.3. Rugosidade

Para a determinação do coeficiente de rugosidade de *Manning* foi consultada tabela disponibilizada pelo *software* de dimensionamento de canais *MACRA Studio* que indica o valor de $n = 0,0301$ para gabião e $n = 0,0277$ para colchão reno.

Por se tratar de canal com diferentes materiais de revestimento, faz-se necessário o cálculo de coeficiente de rugosidade equivalente, dado pela Equação 7.

$$n_{eq} = \frac{P_a \cdot n_a + P_b \cdot n_b + \dots + P_n \cdot n_n}{P}$$

Equação 7 – Rugosidade equivalente

7.4. Velocidade Máxima

Como parâmetro de velocidade máxima, foi consultada a Tabela 4 de Hidráulica de Canais, Travessias e Barramentos do DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica do estado de São Paulo. Para o canal em estudo, revestido com gabião, o DAEE sugere o valor $V_{m\acute{a}x} = 2,5 \text{ m/s}$.

7.5. Borda Livre

Em canais de seção aberta deve-se manter uma borda livre mínima de 10% da lâmina d'água estimada para a cheia de projeto, com limite inferior de $f \geq 0,4 \text{ m}$.

7.6. Dimensionamento do Canal

A seção adotada será retangular, com base (B) com 5,00 m e altura (h) de 3,27 m. A Figura 12 mostra a representação da seção típica do canal.

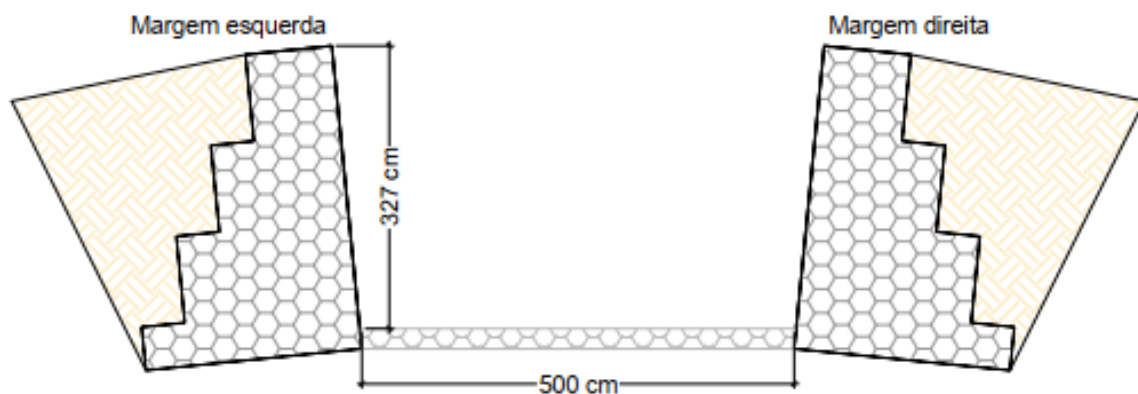


Figura 12 - Seção do canal
Fonte: DAC Engenharia (2024).

Com as dimensões do canal definidas, é possível calcular a vazão máxima suportada pela calha por meio da Equação 6. Além disso, a borda livre adotada foi de 0,4 m. Antes de proceder ao cálculo da vazão propriamente dita, faz-se necessário calcular o raio hidráulico. A Figura 13 mostra a seção do canal com os parâmetros de borda livre, perímetro molhado e área molhada.

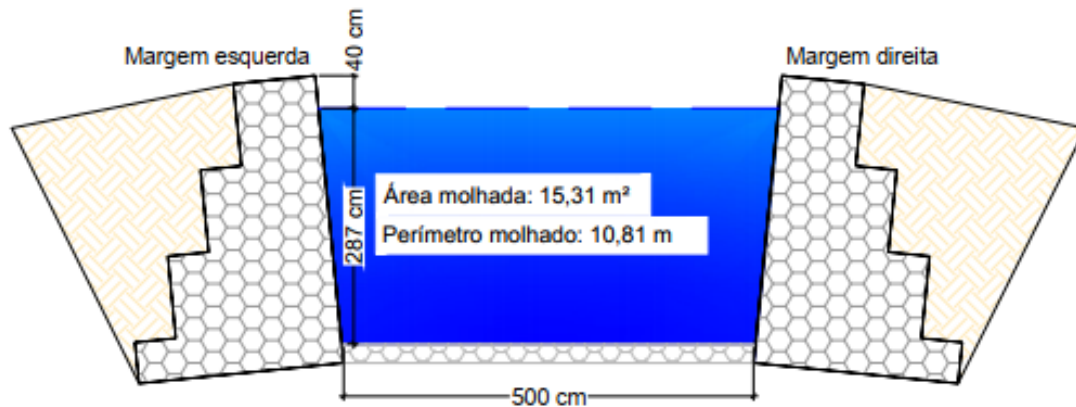


Figura 13 - Seção com perímetro molhado e área molhada
Fonte: DAC Engenharia (2024).

A saber, $P_m = 10,81 \text{ m}$ e $A_m = 15,31 \text{ m}^2$.

Com isto, determina-se o raio hidráulico e o coeficiente de rugosidade equivalente.

$$R_H = \frac{15,31}{10,81} \rightarrow R_H = 1,42 \text{ m}$$

$$n_{equivalente} = \frac{5 \cdot 0,0277 + 2 \cdot 2,88 \cdot 0,0301}{10,81} \rightarrow n_{equivalente} = 0,029$$

Desta forma, é possível determinar a vazão máxima da seção em análise, com declividade longitudinal adotada de 0,32%.

$$Q_{m\acute{a}x} = \frac{1}{0,029} \cdot 1,42^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{0,0032} \cdot 15,31$$

$$Q_{m\acute{a}x} = 37,34 \text{ m}^3/\text{s}$$

Com o valor da vazão máxima determinada, é possível calcular a velocidade máxima e, portanto, verificar se o limite máximo é excedido. Pela Equação 5, tem-se:

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{37,34}{15,31} = 2,46 \text{ m/s}$$

Desta forma, verifica-se que a velocidade máxima calculada não excede o valor limite de 2,50 m/s.

No item 5.2.2 foi calculada a vazão de projeto, com o valor de $Q_{projeto} = 11,17 \text{ m}^3/\text{s}$. Desta forma, esta vazão não excede a vazão máxima suportada pelo canal projetado.

Com estes valores, é possível determinar a linha d'água de projeto. Como a determinação desta altura de lâmina d'água de projeto exige processos iterativos, recorreu-se ao *software MACRA Studio*, desenvolvido para o dimensionamento de canais. Com isso, a Figura 14 mostra os resultados obtidos de altura da lâmina d'água de projeto.

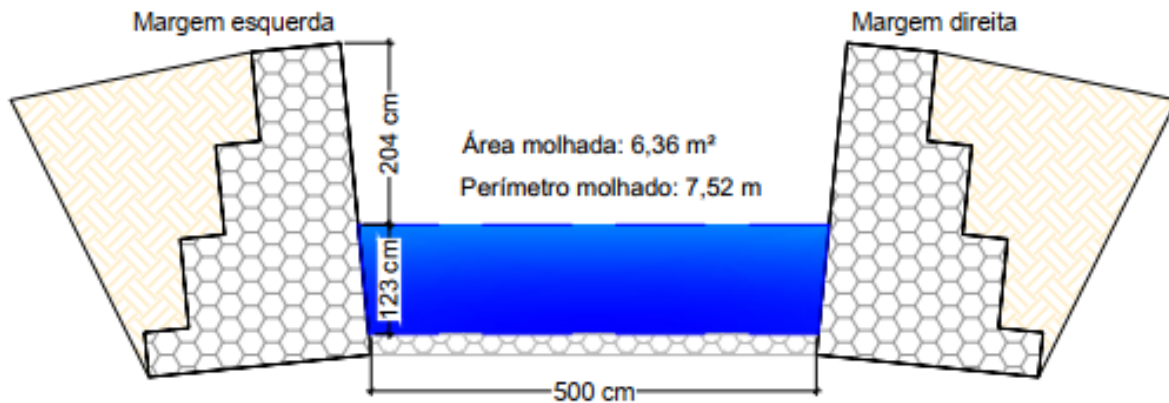


Figura 14 - Altura de lâmina d'água
Fonte: DAC Engenharia (2024).

Desta forma, para a vazão de cheia de $11,17 \text{ m}^3/\text{s}$, foi obtida uma lâmina d'água de 1,23 m e uma borda livre de 2,04 m. Além disso, a velocidade de projeto calculada é de 1,77 m/s, não excedendo o valor limite definido. A Figura 15 mostra a curva nível d'água por vazão, evidenciando a vazão máxima e lâmina máxima e a vazão de projeto e lâmina de projeto.

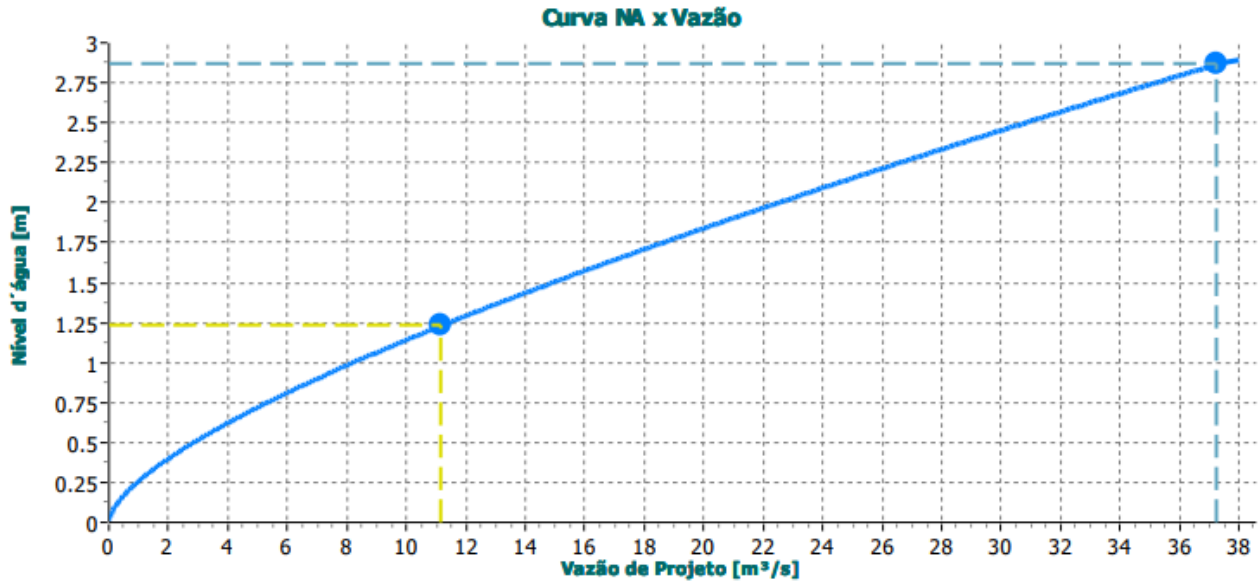


Figura 15 - Curva nível d'água por vazão
 Fonte: DAC Engenharia (2024).

Com as informações obtidas, é possível confirmar que o canal dimensionado suporta a vazão de cheia calculada.

8. DIMENSIONAMENTO DE TRAVESSIA CELULAR

Para o dimensionamento hidráulico, será considerado que o bueiro celular funcionará como canal. Desta forma, tanto o emboque quanto o desemboque não estão submersos. Além disso, a declividade do canal é comparada à declividade crítica e o controle ocorre a montante se o regime verificado é torrencial e a jusante se o regime é fluvial.

8.1. Equacionamento

$$I_{\text{crítico,celular}} = \frac{2,6 \cdot n^2}{\sqrt[3]{H}} \cdot \left(3 + \left(4 \cdot \frac{H}{B}\right)\right)^{\frac{4}{3}}$$

Equação 8 – Declividade Crítica

$$Q_{\text{adm,celular,subcrítico}} = \left[\frac{(0,8 \cdot B \cdot H)^5}{(B + 1,6 \cdot H)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\sqrt{i}}{n}$$

Equação 9 – Vazão admissível regime subcrítico

$$V_{\text{celular,subcrítico}} = \frac{Q_{\text{adm}}}{0,8 \cdot B \cdot H}$$

Equação 10 – Velocidade no regime subcrítico

$$Q_{\text{adm,celular,supercrítico}} = 1,705 \cdot B \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

Equação 11 – Vazão admissível no regime supercrítico

$$V_{\text{celular,supercrítico}} = 2,56 \cdot \sqrt{H}$$

Equação 12 – Velocidade no regime supercrítico

Onde,

- B é a largura do bueiro celular (m);
- H é a altura do bueiro celular (m);
- i é a declividade do bueiro celular.

8.2. Dimensionamento

Devido as características topográficas do local, foi adotado um bueiro celular duplo de 2,0 m de largura por 2,0 m de altura. Com suas dimensões definidas, faz-se necessária a verificação de sua capacidade hidráulica, que será realizada a seguir.

8.3. Rugosidade

O material de revestimento das paredes e laje de fundo do bueiro celular será de concreto, cujo coeficiente de rugosidade de *Manning* é de $n = 0,015$.

8.4. Velocidade Admissível

A velocidade admissível para bueiros celulares de concreto de cimento *Portland* é de $V_{adm} = 4,50 \text{ m/s}$.

8.5. Cálculo da Declividade Crítica

Pela Equação 8, tem-se:

$$I_{crítica} = \frac{2,6 \cdot 0,015^2}{\sqrt[3]{2,00}} \cdot \left(3 + \left(4 \cdot \frac{2}{2}\right)\right)^{\frac{4}{3}}$$
$$I_{crítica} = 0,0062$$

A declividade do bueiro, definida pela topografia, é de 0,0032. Como a declividade levantada é menor do que a declividade crítica, o regime é subcrítico.

8.6. Cálculo da Vazão Admissível no Regime Subcrítico

$$Q_{adm,celular,subcrítico} = 2 \left[\frac{(0,8 \cdot 2 \cdot 2)^5}{(2 + 1,6 \cdot 2)^2} \right]^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{\sqrt{0,0032}}{0,015}$$
$$Q_{adm,celular,subcrítico} = 17,46 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como a vazão admissível no regime subcrítico é superior a vazão de projeto, o bueiro selecionado atende as especificações de projeto.

8.7. Lâmina D'água de Projeto

Como o cálculo da altura da lâmina d'água de projeto exige processos iterativos, recorreu-se ao *software SisCCoH 1.1*, desenvolvido para o dimensionamento de bueiros. O resultado pode ser visto na Figura 16.

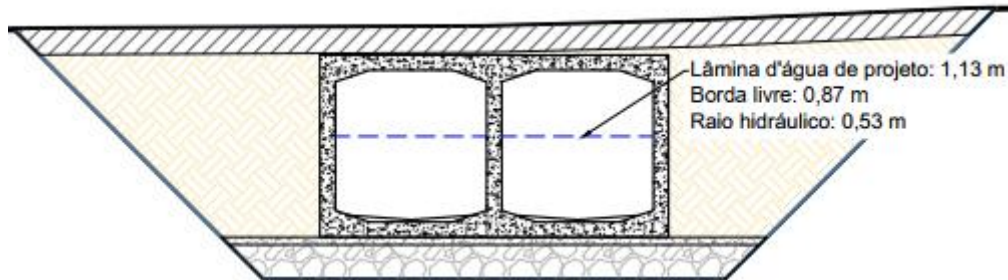


Figura 16 - Lâmina d'água de projeto
Fonte: DAC Engenharia (2024).

8.8. Cálculo da Velocidade de Projeto

A velocidade de projeto também foi calculada utilizando-se o *software SisCCoH 1.1*, chegando-se ao resultado de 2,47 m/s, não excedendo ao valor limite de 4,5 m/s.

9. ESTUDO DO IMPACTO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

A canalização do curso d'água promove algumas modificações em suas características hidrológicas e hidráulicas, uma vez que ele assume uma forma geométrica que nesse caso, será retangular. Dessa forma, surge a necessidade de avaliar os efeitos que o empreendimento causará, analisando os parâmetros do trecho antes e depois da intervenção.

Para realizar essa análise, considerou-se a topografia do trecho em que o canal foi projetado antes da intervenção, coletando pontos com dados de cotas e profundidades por seção transversal do leito natural. Foram examinadas seções divididas pelas estacas, resultando assim em quatro análises, sendo uma à montante, uma ao meio e outra duas mais à jusante do local de estudo (Figura 17).

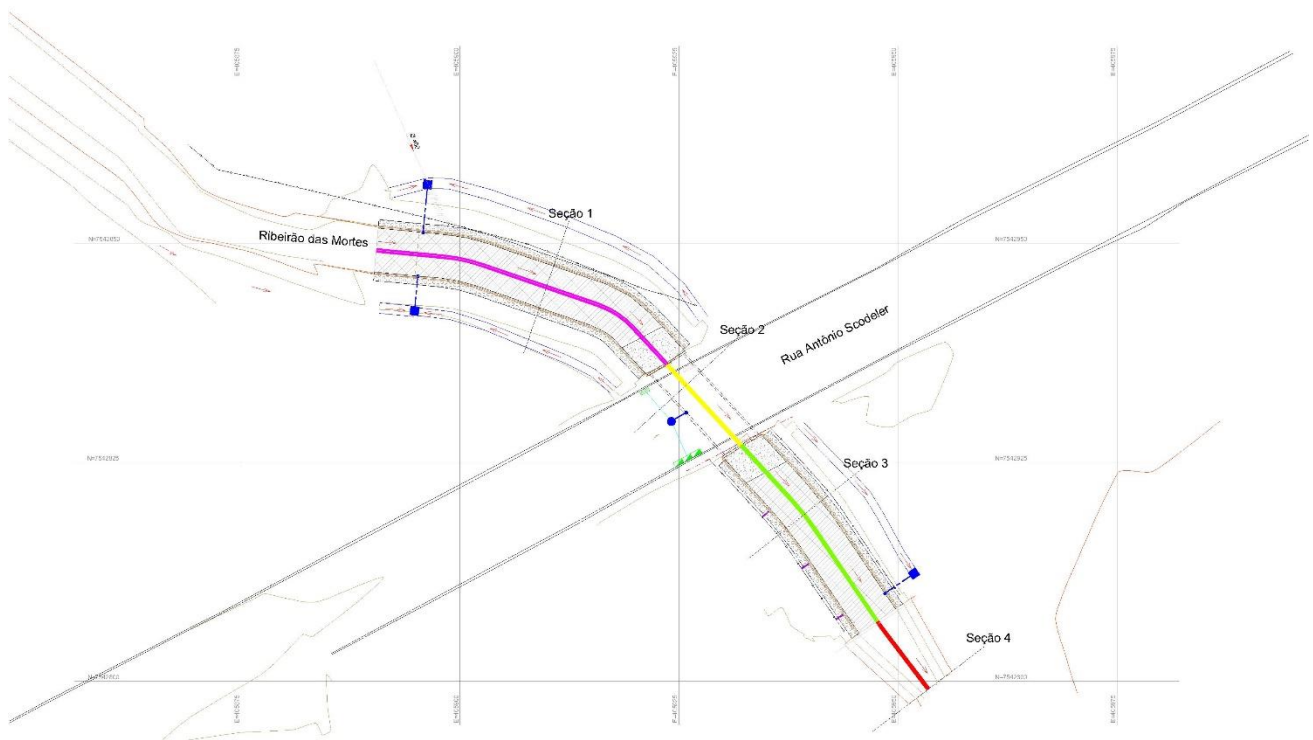


Figura 17 - Localização das seções analisadas no estudo
Fonte: DAC Engenharia (2024).

Não houve necessidade de analisar o trecho em que se localiza o bueiro celular redimensionado, uma vez que ele já existia e as alterações da intervenção no curso d'água já foram causadas.

Após definir as geometrias das seções analisadas, suas declividades e coeficiente de rugosidade, foram realizadas simulações para encontrar as alturas de água considerando a vazão de projeto para o tempo de retorno de 50 anos, definida como 11,17 m³/s. Os dados de entrada e os resultados obtidos (área molhada, profundidade e velocidade) são visualizados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados de entrada e resultado dos parâmetros das seções do leito natural

	Seção 1	Seção 2	Seção 3	Seção 4
Vazão (m³/s)	11,17	11,17	11,17	11,17
Declividade (m/m)	0,0046	0,0046	0,0082	0,0082
Rugosidade (n)	0,035	0,035	0,035	0,035
Folga (m)	-	-	-	-
Comprimento (m)	20	20	20	20
Base (m)	1,97	1,86	3,63	-
Área molhada (m²)	5,21	5,49	4,63	4,963
Profundidade (m)	1,653	1,601	1,039	1,02
Velocidade (m/s)	2,145	2,035	2,41	2,251

De forma a comparar os resultados obtidos antes e depois da intervenção, foi feita a Tabela 7 a seguir.

Tabela 7 – Parâmetros obtidos para depois da intervenção

Seção	Vazão (m ³ /s)	Área molhada (m ²)	Velocidade (m/s)
1	11,17	6,36	1,77
2	11,17	5,20	2,47
3	11,17	6,36	1,77
4	11,17	4,94	2,27

Como é possível observar na Tabela 7 em relação a Tabela 6, nota-se que a área da seção molhada para os trechos revestidos em gabião aumentaram em relação as seções naturais do ribeirão. Em geral, se a área de uma seção de um canal for maior, a velocidade do escoamento tende a ser menor, desde que a vazão seja mantida constante. A equação que descreve essa relação é a Equação da Continuidade (Equação 13).

$$A1 \times V1 = A2 \times V2$$

Equação 13 – Equação da continuidade

Os níveis d'água encontrados são em relação ao leito natural do ribeirão e o nível d'água da canalização e é em relação ao colchão reno projetado. Dessa forma, para uma

melhor compreensão dos níveis d'água antes e depois da intervenção, foi realizado um perfil longitudinal, que pode ser visualizado no Anexo IV.

Também foram feitos perfis das seções transversais analisadas. Eles podem ser observados nas Figura 18, Figura 19, Figura 20 e

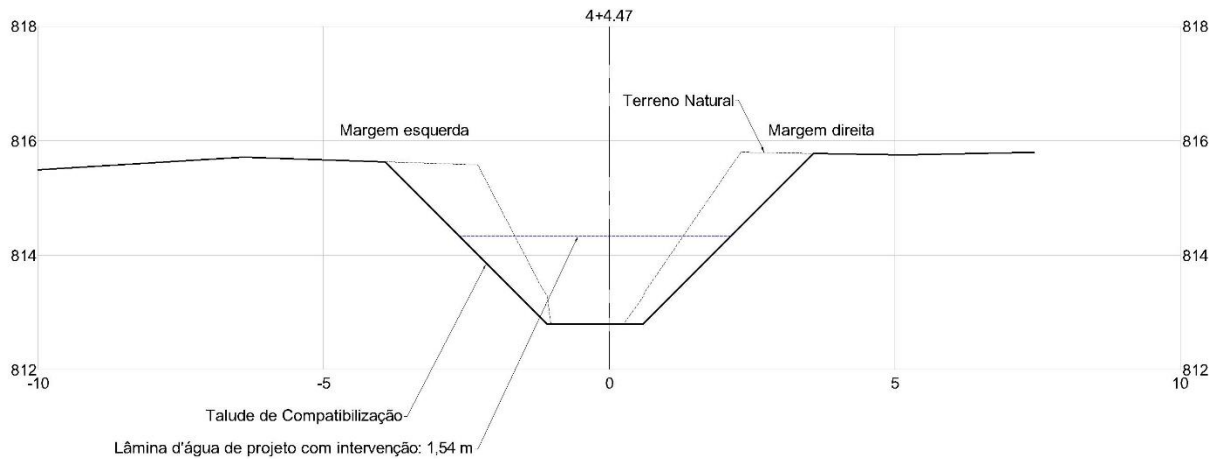


Figura 21 a seguir.

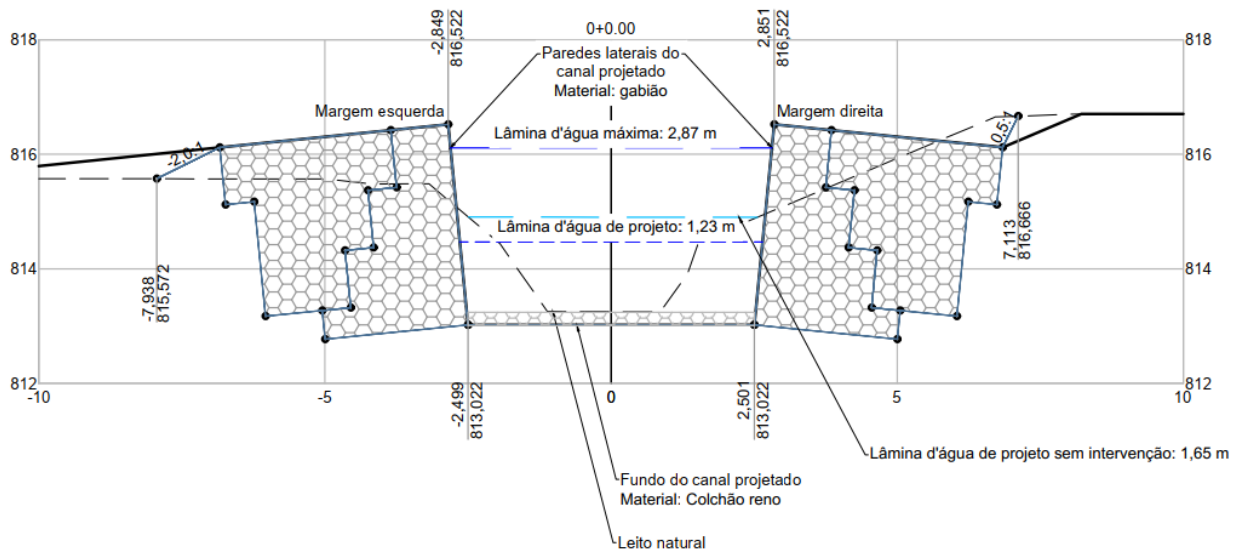


Figura 18 - Seção transversal do primeiro trecho analisado
 Fonte: DAC Engenharia (2024).

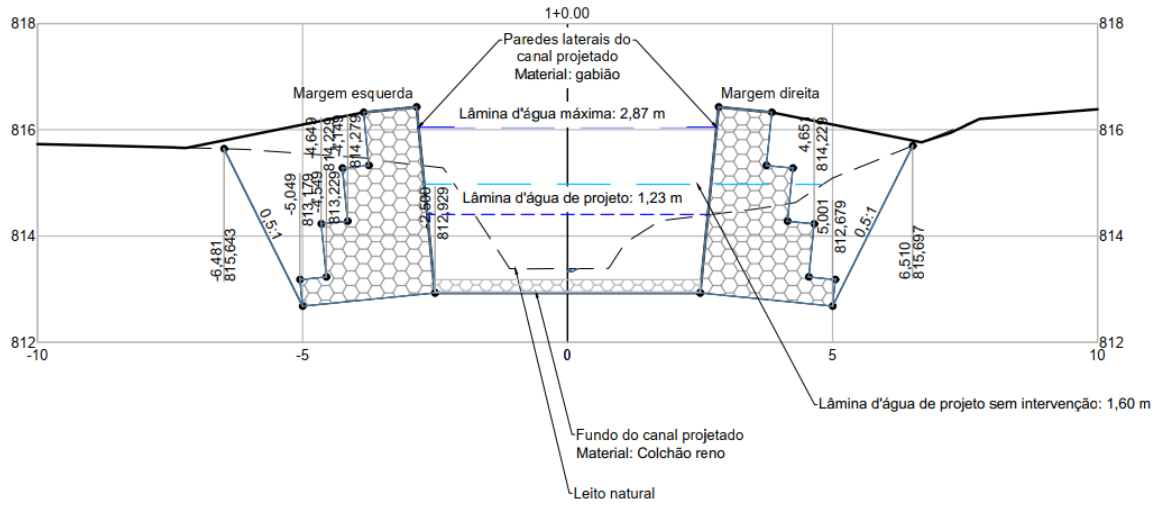


Figura 19 - Seção transversal do segundo trecho analisado
 Fonte: DAC Engenharia (2024).

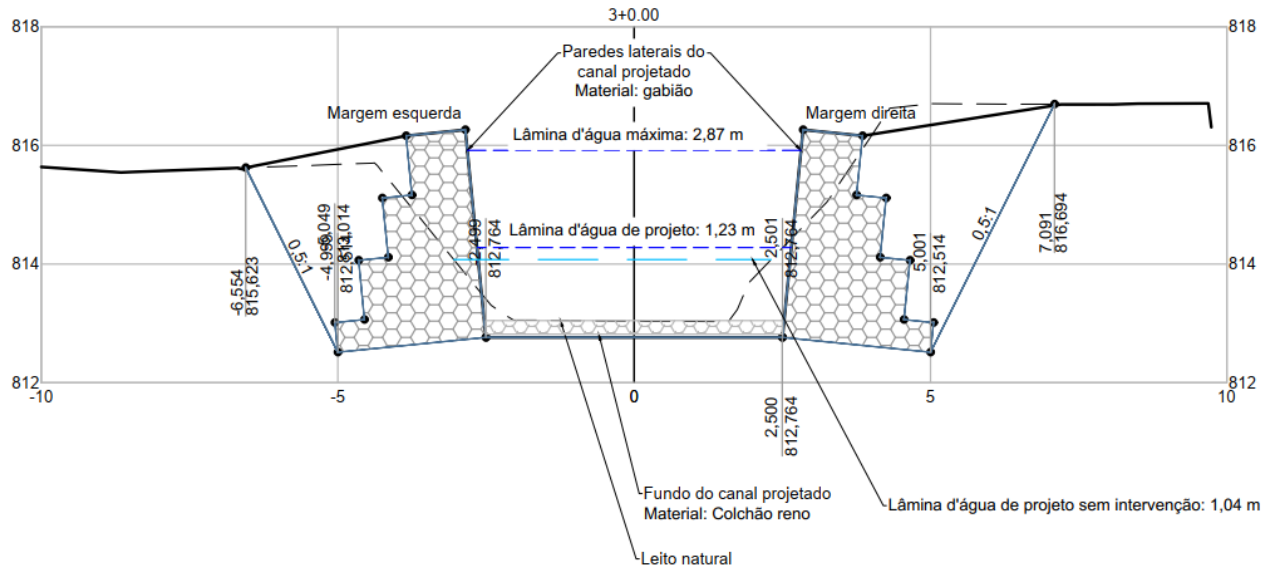


Figura 20 - Seção transversal do terceiro trecho analisado
Fonte: DAC Engenharia (2024).

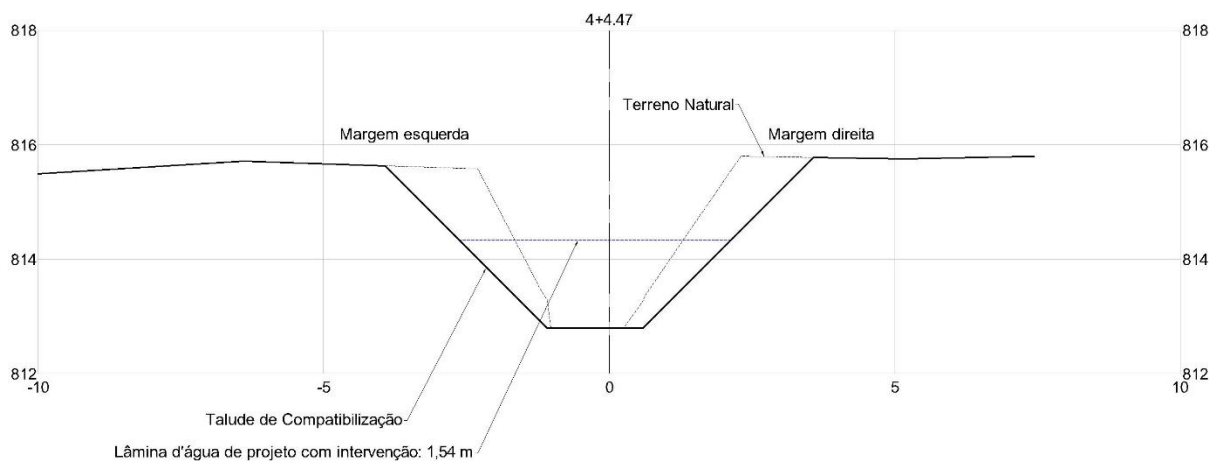


Figura 21- Seção transversal do quarto trecho analisado
Fonte: DAC Engenharia (2024).

Como pode ser visto no perfil longitudinal e nas seções transversais, a linha d'água antes da intervenção se encontra em um nível 0,43m acima, tendendo a se aproximar do nível encontrado para o projeto de 1,23m à medida que se aproxima da jusante do trecho estudado, terminando o percurso 0,5m abaixo.

Conclui-se então, que a intervenção não causará grandes impactos sobre a dinâmica do escoamento, além de diminuir os níveis d'água, auxiliando nos problemas de alagamentos relatados no local.

10. CRITÉRIOS PARA A DEFINIÇÃO DO REVESTIMENTO

Para a canalização do curso d'água em análise, foi adotado canal retangular de **seção aberta** sendo suas paredes revestidas com gabião e seu leito revestido com colchão reno.

Os gabiões são estruturas de contenção que oferecem estabilidade e resistência à erosão em cursos d'água, protegendo as margens contra o desgaste causado pelo fluxo da água, além de se adaptarem as variações naturais do leito do rio, sendo menos suscetíveis a danos em comparação com estruturas rígidas, como concreto.

Eles também permitem a passagem de água através de suas malhas, o que é importante para manter o equilíbrio hidrológico e evitar o acúmulo de pressão atrás da estrutura, reduzindo o risco de erosão e colapso. Essa característica também permite que se criem habitats aquáticos para a vida selvagem, contribuindo para a biodiversidade local.

Por fim, o revestimento de gabião é geralmente mais econômico do que alternativas mais caras, como paredes de concreto. Além disso, sua instalação e manutenção é relativamente simples.

O colchão reno apresenta as mesmas vantagens mencionadas para o gabião, pois são tecnologias semelhantes de revestimento.

11. PROJETO CONCEITUAL

Os detalhes do projeto arquitetônico são apresentados no Anexo I. Já os estudos completos de drenagem são apresentados no Anexo II.

As plantas do projeto de terraplanagem contendo a definição do canal em gabião se encontram no Anexo III.

As plantas do projeto de terraplanagem contendo a planta baixa de compatibilização se encontram no Anexo IV.

Por fim, o perfil da linha d'água antes e após o atual processo de canalização é apresentado na planta no Anexo V.

12. INTERVENÇÕES AMBIENTAIS

Para a implantação do projeto de canalização em **sessão aberta**, em Pouso Alegre/MG, será necessária a intervenção ambiental em Área de Preservação Permanente - APP, com área de 813,292 km², incluindo a supressão de 27 indivíduos arbóreos. A Figura 22 apresenta a localização do trecho a ser canalizado, os indivíduos arbóreos a serem suprimidos e a área de intervenção em APP.

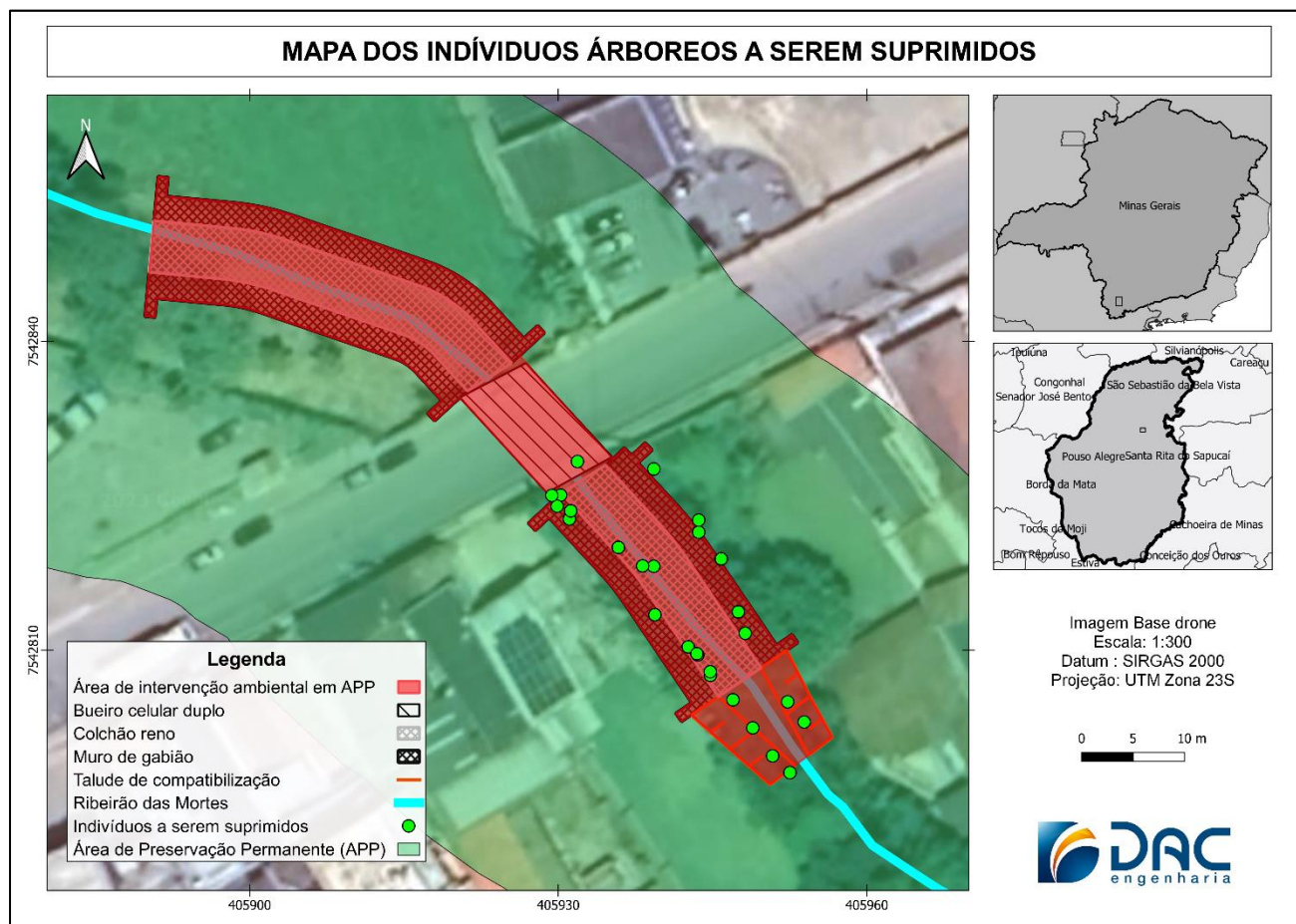


Figura 22 - Mapa do trecho a ser canalizado e indivíduos a serem suprimidos
Fonte: DAC Engenharia (2024).

No que tange as autorizações ambientais para solicitação de Autorização de Intervenção em Área de Preservação Permanente – APP, com Supressão Vegetal, fora solicitado ao Órgão Ambiental competente, sendo este, o COMDEMA – Conselho Municipal de Defesa do Meio Ambiente do município de Pouso Alegre.

13. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este documento apresenta os itens dispostos no termo de referência Canalização e/ou Retificação de Curso D'água, requerido pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM para a solicitação de outorga de águas superficiais na modalidade de outorga de autorização, referente ao projeto de requalificação da travessia do ribeirão das Mortes na Avenida Antônio Scodeler, bairro Fátima III, em Pouso Alegre/MG.

O uso dos recursos hídricos para canalização e/ou retificação de curso d'água tem por finalidade sanar os problemas de alagamentos e inundações que afligem os moradores da Avenida Antônio Scodeler, não sendo previsto demais usos dos recursos hídricos além dos solicitados por esse documento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em < <http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 01 out. de 2022.

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

COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental. Deliberação Normativa COPAM nº 95, de 12 de abril de 2006. Dispõe sobre critérios para o licenciamento ambiental de intervenções em cursos d'água de sistemas de drenagem urbana no Estado de Minas Gerais. **Diário do Executivo**. Belo Horizonte: COPAM, 2006. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5533>. Acesso em: outubro de 2022.

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

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

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

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

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

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

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

ANEXO I – PROJETO ARQUITETÔNICO

ANEXO II – PROJETO DE DRENAGEM DE ÁGUAS PLUVIAIS

ANEXO III – PROJETO DE TERRAPLANAGEM – GABIÃO

ANEXO IV – PROJETO DE TERRAPLANAGEM – COMPATIBILIZAÇÃO

ANEXO V – PERFIL DA LINHA D'ÁGUA