



UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
MESTRADO PROFISSIONAL EM DEFESA E SEGURANÇA CIVIL
INSTITUTO DE QUÍMICA

Pedro Retamal Weinem

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES. ESTUDO DE CASO:
MUNICÍPIO DE LAJE DO MURIAÉ, ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Niterói

2016

i

PEDRO RETAMAL WEINEM

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES. ESTUDO DE CASO:
MUNICÍPIO DE LAJE DO MURIAÉ, ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Trabalho de Conclusão na modalidade estudo de caso apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais.

Orientador:

Prof. Antônio Ferreira da Hora, D.Sc.

Niterói

2016

ii

PEDRO RETAMAL WEINEM

**MAPEAMENTO DE RISCO DE INUNDAÇÕES. ESTUDO DE CASO:
MUNICÍPIO DE LAJE DO MURIAÉ, ESTADO DO RIO DE JANEIRO.**

Trabalho de Conclusão na modalidade estudo de caso apresentado ao Curso de Mestrado Profissional em Defesa e Segurança Civil da Universidade Federal Fluminense como requisito parcial para obtenção de grau de Mestre em Defesa e Segurança Civil. Área de concentração: Planejamento e Gestão de Eventos Críticos. Linha de Pesquisa: Desastres Naturais

Aprovada em

Banca Examinadora

Prof. Dr. Antonio Ferreira da Hora
Universidade Federal Fluminense ó UFF

Prof^a. Dr^a. Mônica de Aquino Galeano Massera da Hora
Universidade Federal Fluminense - UFF

Prof. Luiz Carlos Pires, D.Sc.
Universidade do Vale do Paraíba

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal Fluminense, seu corpo docente, direção e administração que viabilizaram a oportunidade de estudar no Mestrado em Defesa e Segurança Civil.

Ao Professor Gustavo Carneiro de Noronha (*in memoriam*) por incentivar os alunos a ampliar os conhecimentos acadêmicos e por todo esforço e dedicação prestada sempre com boa vontade.

RESUMO

A frequência de eventos extremos no Brasil desafia técnicos e pesquisadores da área hidrológica e hidráulica a refletirem sobre o problema e buscarem soluções através de conceitos e metodologia usualmente utilizados em estudos relacionados a obras hidráulicas e práticas de gestão. O estudo de caso no município de Laje do Muriaé é justificado uma vez que os eventos observados apresentam alta frequência num espaço curto de tempo e resultam em prejuízos materiais, sociais e ambientais. As soluções corretivas propostas consistem em medidas estruturais e não estruturais. As tomadas de decisões devem ser elaboradas conforme condições locais de aspectos econômicos e sociais da região, de forma a minimizar os riscos existentes à sociedade. O estudo consistiu em análise geral do risco envolvido, entre a fonte e o alvo do evento e para sua realização foi necessário o levantamento da base de dados topográficos, batimétricos, hidrológicos; a simulação do comportamento do escoamento a partir de modelagem e, posteriormente, análise dos resultados obtidos. A partir dos resultados alcançados foi possível definir o mapa de inundação da zona urbana. A metodologia utilizada possibilitou a extensão do conhecimento em outras regiões permitindo a simulação de eventos extremos e possíveis alternativas para mitigação dos desastres oriundos das inundações.

Palavras-Chave: Hidráulica fluvial, Modelagem computacional, Redução de riscos,

ABSTRACT

The frequency of extreme events in Brazil challenges technicians and researchers of hydrologic and hydraulic area to reflect on the problem and seek solutions through concepts and methodology commonly used in studies related to hydraulic structures and management practices. The case study on the Laje municipality of Muriaé is justified since the observed events have a high frequency in a short time and result in material, social and environmental damage. Corrective proposed solutions consist of structural and non-structural measures. Decision-making should be designed according to local conditions of economic and social aspects of the region, in order to minimize the risks existing in society. The study consisted of general analysis of the risk involved, between the source and the target of the event and its realization was necessary to survey the topographic database, bathymetry, hydrology; simulating the flow behavior from modeling and subsequently analyzing the results obtained. From the results achieved it was possible to define the flood map the urban area. The methodology allowed the extension of knowledge in other regions allowing the simulation of extreme events and possible alternatives for mitigation of disasters arising from floods.

Key Words: River Hydraulic, Computerized modeling, Risk mitigation.

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUÇÃO.....	1
1.1 OBJETIVO GERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 JUSTIFICATIVA.....	2
1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO.....	3
CAPÍTULO II.....	5
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 RISCOS E DESASTRES.....	5
2.2 A INFRAESTRUTURA URBANA.....	6
2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E A GESTÃO TERRITORIAL.....	10
2.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DE enchentes.....	12
2.5 MODELAGEM HIDRÁULICA DE enchentes com a ferramenta hec-ras.....	13
2.5.1 Definição da superfície da água para escoamento permanente.....	14
2.5.2 Perdas de carga.....	15
2.5.3 Energia específica e altura crítica.....	17
2.5.4 Equação de conservação da quantidade de movimento.....	18
2.5.5 Condições de contorno.....	21
2.5.6 Interpolação de seções transversais.....	22
CAPÍTULO III.....	23
MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 METODOLOGIA.....	28
3.1.1. Análise e tratamento de dados.....	29
CAPÍTULO IV.....	33
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
CAPÍTULO V.....	49
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	49
CAPÍTULO VI.....	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Círculo de desastres	6
Figura 2 - Características dos leitos do rio.....	8
Figura 3 - Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada.....	9
Figura 4 - Representação gráfica da linha de energia	15
Figura 5 - Divisão do leito em subdivisões para determinação da capacidade total de transporte.....	16
Figura 6 - Aplicação da quantidade de movimento	19
Figura 7 - Modelo de interpolação de seções transversais	22
Figura 8 - Mapa hidrográfico	24
Figura 9 - Delimitação Física das Sub-bacias em Estudo	25
Figura 10 - Área de drenagem de Patrocínio do Muriaé (em verde) e Laje do Muriaé (em amarelo).....	26
Figura 11 e Figura 12. Efeitos da cheia em Laje de Muriaé-RJ	27
Figura 13 - Fluxograma de dimensionamento hidráulico fluvial	28
Figura 14 - Imagem aerofotogramétrica com coordenadas UTM, Eixo e Margens do Rio Muriaé	30
Figura 15 - Mapa topográfico da região estudada	31
Figura 16 - Geometria e plano de seções.....	32
Figura 17 - Perfil longitudinal com as linhas de remanso referentes a $Q_{TR=25 \text{ anos}}$ e $Q_{95\%}$	34
Figura 18 - Seção Transversal 1	34
Figura 19 - Seção transversal 2.....	35
Figura 20 - Seção transversal 3.....	35
Figura 21 - Seção transversal 4.....	36
Figura 22 - Seção transversal 5.....	36
Figura 23 - Seção transversal 6.....	37
Figura 24 - Seção transversal 7.....	37
Figura 25 - Seção transversal 8.....	38
Figura 26 - Seção transversal 9.....	38
Figura 27 - Seção transversal 10.....	39
Figura 28 - Seção transversal 11.....	39
Figura 29 - Seção transversal 12.....	40
Figura 30 - Seção transversal 13.....	40
Figura 31 - Seção transversal 14.....	41
Figura 32 - Seção transversal 15.....	41
Figura 33 - Seção transversal 16.....	42
Figura 34 - Seção transversal 17.....	42
Figura 35 - Seção transversal 18.....	43
Figura 36 - Seção transversal 19.....	43
Figura 37 - Seção transversal 20.....	44
Figura 38 - Seção Transversal 21	44
Figura 39 - Mapa de risco de cheia para TR=10 anos e TR=25 anos.....	47
Figura 40 - Área habitada com maior grau de risco	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 ó Coeficientes de contração e de expansão.....	17
Tabela 2 - Coordenadas dos locais em interesse	25
Tabela 3 - Vazão de cheias estimadas para o local de interesse.....	27
Tabela 4 - Resultados de saída das seções do Rio Muriaé, $Q_{TR=25 \text{ anos}}$	45
Tabela 5 - Resultados de saída da seção do Rio Muriaé, $Q_{95\%}$	46

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas
DEP	Departamento de Esgotos Pluviais
DER-RJ	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Rio de Janeiro
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HUT	Hidrograma Unitário Triangular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MDS	Modelo digital de superfície
MDT	Modelo digital de terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
OCHA	<i>The United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affair</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
PNDF	Política Nacional de Defesa Civil
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
SCS	<i>United States Soil Conservation Service</i>
SIG	Sistemas de informações geográficas
UFF	Universidade Federal Fluminense
UNDAC	<i>The United Nations Disaster Assessment and Coordination Teams</i>
UNISDR	<i>The United Nations Office for Disaster Risk Reduction</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
OSOCC	<i>The establishment of On-Site Operations Coordination Centres</i>
USACE	<i>US Army Corp of engineers</i>

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Os desastres de origem hídrica são observados com ocorrência relativamente alta em território nacional. As enchentes são responsáveis pelo desencadeamento de catástrofes devido à propagação de danos gerados à sociedade e atingem drasticamente a população, em aspectos sociais, econômicos e de segurança.

Problemas desta magnitude podem ser mitigados através de pesquisa multidisciplinar envolvendo análise de dados hidrológicos e meteorológicos, que ao serem associados aos sistemas de informação geográfica e modelagem computacional permitem a identificação de áreas de riscos, bem como a indicação de soluções estruturais e preventivas no controle das cheias.

Os locais de incidência das enchentes desafiam o aprimoramento de um sistema de identificação das áreas inundáveis que possam indicar medidas de controle para auxílio dos órgãos governamentais e a sociedade como um todo.

A presente proposta tem como objetivo auxiliar na gestão de risco em inundações, através de ferramenta desenvolvida com aplicação de uma metodologia englobando análise de dados de campo, revisão bibliográfica da literatura sobre controle de cheias e inundações, introdução de valores numéricos e modelagem computacional. A área utilizada no estudo de caso localiza-se no interior do Estado do Rio de Janeiro, no Município de Laje de Muriaé.

O projeto será desenvolvido a partir de análise de dados históricos, meteorológicos, hidrológicos e hidrométricos que interligados a sistema de informação geográfico e a modelos digitais de terrenos e mapas geológicos, e fornecerão elementos para constituição de modelagem hidráulica fluvial de bacias hidrográficas através de ferramenta computacional.

A modelagem hidráulica será calibrada conforme os resultados hidrológicos obtidos. Desta forma, serão evidenciadas as áreas povoadas com interferências da calha hidráulica do rio em estudo, possibilitando a proposição de medidas de controle ideais do ponto de vista técnico e social.

As principais dificuldades previstas durante o desenvolvimento da pesquisa estão relacionadas às bases de dados cadastrais, pois a pesquisa deve garantir a autenticidade dos elementos analisados, a fim de simular matematicamente a projeção da onda de cheia, tentando reproduzir, da melhor forma possível, o evento observado.

Como resultado da pesquisa, pretende-se estruturar uma ferramenta de identificação e caracterização de áreas de risco propícias a eventos extremos relacionados a enchentes. Os resultados obtidos através da modelagem hidráulica serão utilizados como base em planos de ação de minimização de catástrofes deste porte.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo da pesquisa é fundamentado no conceito de projeto em controle de cheia, através da aplicação de modelo hidrodinâmico fluvial sintetizado por uso de ferramenta computacional de geoprocessamento e base de dados de uma bacia hidrográfica. As medidas adotadas durante a pesquisa foram desenvolvidas a partir da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), associadas às diretrizes de plano de gestão da Organização das Nações Unidas, preservando práticas consagradas de engenharia hidráulica.

Durante a pesquisa serão abordados os dados elementares do projeto para elaboração de mapa de áreas susceptíveis à inundações, e desta forma evitar desastres de origem hidrológica em regiões com históricos de ocorrência de eventos extremos. O estudo poderá ser transformado num roteiro para servir como ferramenta de gestão em áreas de riscos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos da pesquisa são:

Análise de características físico-geográficas da bacia hidrográfica;

Estudo e tratamento de base de dados de sistemas de informações geográficas;

Dimensionamento hidráulico fluvial do trecho urbano de Laje de Muriaé, definição das seções transversais e mapa de inundação.

Proposta de medidas estruturais corretivas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A bacia do rio Muriaé tem uma área de drenagem de 8.200 km², abrangendo cerca de 19 municípios mineiros e 7 fluminenses, onde habitam cerca de 320 mil pessoas. Os municípios mais representativos dessa bacia do ponto de vista populacional, ou seja aqueles com população superior a 20 mil habitantes, são: Muriaé, Carangola e Itaperuna. A principal característica dessa bacia em relação ao saneamento ambiental é a falta de tratamento dos efluentes provenientes dos esgotos domésticos, resultando em lançamento ôin natura de

matéria orgânica e coliformes fecais, com risco para a saúde pública da população da bacia. Além disso, a parte mineira da bacia contribui com grandes deflúvios superficiais que escoam em direção ao estado do Rio de Janeiro, durante os períodos de enchentes, provocando impactos em muitos municípios fluminenses. Outra característica relevante é a degradação da cobertura vegetal, implicando em carreamento de sedimentos para as calhas dos cursos d'água.

Destaca-se que a cheia ocorrida no início de 1997, com período de retorno avaliado em 50 anos, trouxe grandes prejuízos aos municípios fluminenses. Os níveis de água atingidos ultrapassaram todos os registros anteriores, causando inundações catastróficas em algumas cidades, tais como: Patrocínio do Muriaé, Itaperuna e Cardoso Moreira. Nessa última, cerca de 95% da cidade foram diretamente invadidos pelas águas do rio Muriaé. Em Itaperuna, os níveis de inundação foram superiores a 1,0 m na área central e adjacências.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. O Capítulo I apresenta a INTRODUÇÃO e a JUSTIFICATIVA do tema escolhido.

O Capítulo II, REVISÃO BIBLIOGRÁFICA, apresenta os principais temas abordados nesta dissertação: Riscos e Desastres; Desenvolvimento Urbano; Política Nacional de Recursos Hídricos e sua Gestão Territorial; Modelagem hidrológica de enchentes; Modelagem hidráulica de enchentes. Os temas citados serviram de diretrizes durante a pesquisa.

O Capítulo III, MATERIAIS E MÉTODOS, descreve os materiais e métodos utilizados durante a pesquisa. As características físicas-geográficas da bacia do rio Muriaé assim como dimensionamento hidrológico adotados são apresentados neste item. O processo realizado durante aplicação da metodologia consiste em conjunto de tarefas executadas com apoio de ferramentas computacionais.

O Capítulo IV, RESULTADOS E DISCUSSÃO, Apresenta o resultado do dimensionamento hidráulico fluvial e elaboração de mapa de inundação.

No Capítulo V, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, são apresentadas as dificuldades e limitações encontradas no desenvolvimento dos estudos e as conclusões e recomendações deste trabalho.

As publicações consultadas para o desenvolvimento da pesquisa estão relacionadas no Capítulo VI, REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

CAPÍTULO II

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo aborda o desenvolvimento urbano associado aos eventos extremos de origem hidrológica; ressaltando a importância do planejamento de gestão de risco integrado com a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDC), bem como as diretrizes da Organização das Nações Unidas (ONU) referentes ao controle de cheias.

2.1 RISCOS E DESASTRES

Conforme preconizado pelo *The United Nations Office for Disaster Risk Reduction* ó UNISDR (2014), um desastre pode ser definido como uma perturbação grave do funcionamento de uma comunidade, ou mesmo, uma sociedade envolvendo perdas econômicas, ambientais, humanas, materiais, que excede a capacidade da comunidade ou sociedade afetada para lidar com recursos próprios.

Nas últimas décadas, as sociedades foram se conscientizando de que desastre pode ser entendido como o resultado de processos de longo prazo em que os riscos são criados em anos ou décadas antes do desastre se manifestar. Riscos representam a presença de elementos vulneráveis em áreas expostas a perigos. Esses riscos aumentam devido a fatores subjacentes, tais como o desenvolvimento econômico desigual; falha de gestão urbana e desenvolvimento regional; o declínio dos serviços ecossistêmicos regulamentares; a pobreza e a desigualdade.

De acordo com a UNISDR (2014), a gestão do risco de desastres é o processo sistemático de utilizar diretrizes, organizações, habilidades e capacidades operacionais administrativas para implementar estratégias, políticas e melhorar as capacidades de reação a fim de diminuir os impactos adversos de perigos e a possibilidade de desastre. Quando bem sucedido, os esforços da gestão do risco de desastres reduzem ou transferem os efeitos adversos dos perigos através de atividades e medidas relacionadas com a prevenção, mitigação e preparação.

A gestão de desastres se concentra na organização e gestão de recursos e responsabilidades para lidar com todos os aspectos de emergências e desastres, incluindo preparação, resposta e as etapas de recuperação iniciais. Enquanto emergências são eventos que podem ser gerenciados com recursos locais, os desastres são por definição aqueles eventos que ultrapassam os respondedores de capacidade no terreno para gerenciá-los

localmente, portanto, necessitando de ajuda externa a ser gerido. Emergências e desastres abrangem três tipos de fases: resposta, reabilitação e recuperação (Figura 1). Enquanto os esforços de resposta e de reabilitação são realizados nos dias e semanas após o início do desastre, os esforços de recuperação são realizados nos meses e anos após o início e incluem a reconstrução das infraestruturas e na restauração de meios de subsistência (UNISDR, 2014).



Figura 1 - Ciclo de desastres
 Fonte: Adaptado de UNISDR, 2014.

Os perigos naturais são definidos pela UNISDR como processos naturais ou fenômenos que podem causar perda de vida, ferimentos ou outros impactos na saúde, danos materiais, perda de meios de subsistência e serviços, rompimento social e econômica ou danos ambientais. Perigos naturais podem ser caracterizados pela sua magnitude ou intensidade, a velocidade de início, duração, e a área de extensão.

2.2 A INFRAESTRUTURA URBANA

Segundo Tucci (2008), o desenvolvimento urbano se acelerou na segunda metade do século XX com a concentração da população em espaço reduzido, produzindo grande competição pelos mesmos recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade natural. O meio formado pelo ambiente natural e pela população (socioeconômico urbano) é um ser vivo e dinâmico que gera um conjunto de efeitos interligados, que sem controle pode

levar a cidade ao caos. O desenvolvimento sustentável urbano tem o objetivo de melhorar a qualidade da vida da população e a conservação ambiental. É também essencialmente integrador na medida em que a qualidade de vida somente é possível com um ambiente conservado que atenda às necessidades da população, garantindo harmonia do homem e da natureza. Os principais componentes da estrutura da gestão da cidade envolvem os seguintes elementos:

Planejamento e gestão do uso do solo: trata da definição, por meio do Plano Diretor Urbano, de como a cidade é prevista para ser ocupada e suas correções com relação ao cenário do passado e do presente;

Infraestrutura viária, água, energia, comunicação e transporte: planejamento e gestão desses componentes da infraestrutura que podem ser de atribuição de implantação pública ou privada, mas devem estar regulados pelo município;

Gestão socioambiental: a gestão do meio ambiente urbano é realizada por entidades municipais, estaduais ou federais de acordo com a estrutura institucional. A gestão envolve a avaliação e aprovação de projetos, monitoramento, fiscalização e pesquisa para que o desenvolvimento urbano seja socioambiental sustentável.

Os principais indicadores do desenvolvimento urbano são os seguintes:

População: taxa de crescimento, migração e densidade urbana;

Econômico: renda, produto bruto e perfil de produção;

Uso do solo: distribuição por tipo de uso do espaço urbano em residencial, comercial e industrial, áreas públicas.

A urbanização aumenta com o crescimento econômico, quando o perfil da renda se altera e o emprego se concentra mais nos serviços e na indústria do que na agricultura. Com a urbanização, a taxa de natalidade tende a diminuir em razão de vários fatores sociais.

O crescimento urbano ocorrido nas últimas décadas transformou o Brasil num país essencialmente urbano (83% de população urbana). Esse processo se deu especialmente nas Regiões Metropolitanas (RM) e nas cidades que se transformaram em polos regionais. As RM possuem um núcleo principal com várias cidades circunvizinhas. A taxa de crescimento do núcleo da RM é pequena, enquanto o crescimento da periferia é muito alto (IBGE, 1998).

No Brasil, em algumas cidades, a população em área irregular ou informal chega a 50% (MMA, 2000). O crescimento populacional ocorre especialmente na população de baixa renda, e a população favelada deve dobrar nos próximos dez anos, chegando a 13,5 milhões

de pessoas. Isso reflete o déficit habitacional resultado da situação econômica, já que a participação do Estado no aumento da moradia foi da ordem de 27% (MMA, 2000).

Os principais problemas relacionados com a infraestrutura de água no ambiente urbano são:

- Falta de tratamento de esgoto: grande parte das cidades não possui tratamento de esgoto e lança os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios;
- Algumas cidades possuem rede de coleta de esgotos (muitas vezes sem tratamento), mas não implementam a rede de drenagem urbana, sofrendo frequentes inundações com o aumento da impermeabilização;
- Ocupação do leito de inundação pela população ribeirinha;
- Aumento da carga de resíduos sólidos nos cursos d'água;
- Deterioração da qualidade da água por falta de tratamento dos efluentes podendo produzir riscos à saúde da população.

O escoamento pluvial pode produzir inundações e impactos nas áreas urbanas em razão de dois processos, que ocorrem isoladamente ou combinados:

Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios por causa da variabilidade temporal e espacial da precipitação e do escoamento na bacia hidrográfica;

Inundações em razão da urbanização: são as inundações que ocorrem na drenagem urbana por causa do efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

As inundações ocorrem quando o escoamento atinge níveis superiores ao leito menor, atingindo o leito maior. As cotas do leito maior identificam a magnitude da inundação e seu risco e os impactos ocorrem quando essa área de risco é ocupada pela população (Figura 2).

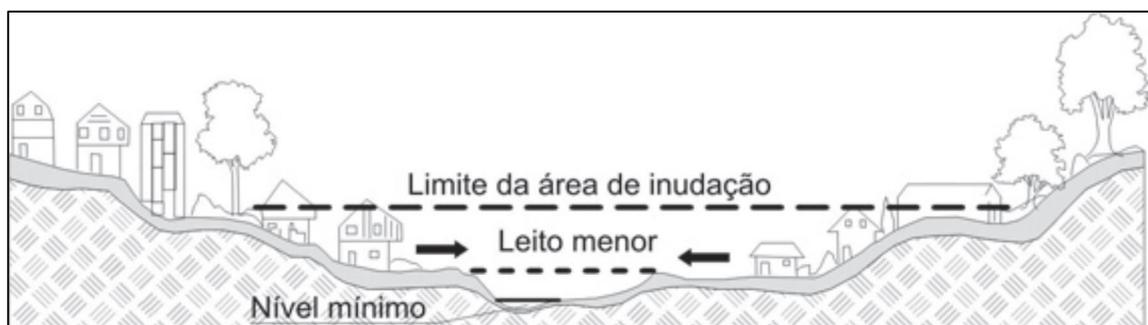


Figura 2 - Características dos leitos do rio.

Fonte: Tucci, 2008.

Essas condições ocorrem em razão das seguintes ações:

Invasão de áreas ribeirinhas pela população de baixa renda.

Ocupação de áreas de médio risco, de frequência menor, mas quando ocorre inundação sofrem prejuízos significativos.

Para buscar modificar esse cenário, é necessário um programa em nível estadual ou federal para apoiar tecnicamente as soluções dos municípios, e a educação da população, além de atuação junto aos bancos que financiam obras em áreas de risco.

Nas inundações por causa de urbanização, as enchentes aumentam a sua frequência e magnitude em razão da impermeabilização do solo e da construção da rede pluvial. O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento. À medida que a cidade se urbaniza, em geral, ocorrem os seguintes impactos:

Aumento das vazões máximas (Figura 3) e da sua frequência em virtude do aumento da impermeabilização das superfícies.

Aumento da produção de sedimentos pela produção de resíduos sólidos.

Deterioração da qualidade da água em razão de lavagem das ruas, transporte de material sólido e de ligações clandestinas de esgoto cloacal e pluvial.

Em virtude de obras de infraestrutura urbana, tais como: (a) pontes e taludes de estradas que obstruem o escoamento; (b) redução de seção do escoamento por aterros de pontes e construções em geral; (c) deposição e obstrução de rios, canais e condutos por lixos e sedimentos; (d) projetos e obras de drenagem inadequadas, com diâmetros que diminuem a jusante, drenagem sem esgotamento, entre outros.

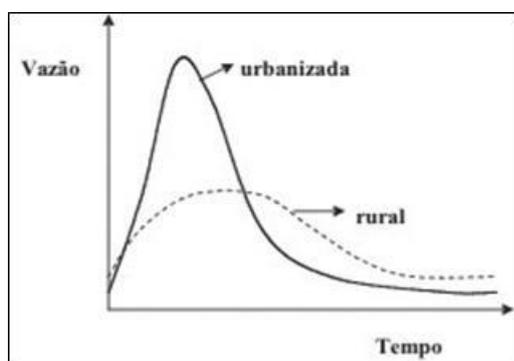


Figura 3 - Hidrograma de bacia rural e depois de urbanizada

Fonte: Tucci, 2008.

2.3 POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS E A GESTÃO TERRITORIAL

De acordo com Tucci (2008), a bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um único ponto de saída. Compõe-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. Assim, ainda segundo o mesmo autor, a bacia pode ser considerada um ente sistêmico e, potencialmente, uma unidade analítica significativa.

A Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, instituída por meio da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, define que a gestão dos recursos hídricos deve tomar como unidade territorial a bacia hidrográfica (BRASIL, 1997).

Como já apontado anteriormente, a articulação entre a gestão de recursos hídricos e a gestão territorial é um aspecto particularmente crítico. Embora as interrelações entre solo e água sejam bastante acessíveis à experiência comum, promover uma gestão integrada de ambos tem provado ser um grande desafio. Isto se deve, em grande parte, ao fato de que a dominialidade dos corpos d'água está distribuída entre a União e os Estados, enquanto que a dominialidade territorial é de competência quase exclusiva dos municípios.

Não se trata, entretanto, de tão somente promover a harmonização das três esferas do poder público, uma tarefa já bastante complexa se considerado que os objetivos de cada esfera não são necessariamente os mesmos ou sequer significativamente compatíveis. Há ainda de ser considerado o interesse dos usuários, espaço onde o conflito é mais visível.

A atual Carta Magna, vigente no Brasil desde 1988, determinou a gestão descentralizada e investiu os municípios de autonomia inédita. Entretanto, a quase totalidade de municípios não está preparada para assumir a gestão dos eventos mais cotidianos, o que dizer, então, de eventos extraordinários, em termos de demanda por recursos, como a ocorrência de estiagens e inundações.

É preciso aprimorar a preparação e prevenção de desastres em busca da mitigação de ocorrência com objetivo de quebrar o ciclo de fatalidades. Porém, enquanto o planejamento não se revelar suficiente, as respostas em situações de emergência e de recuperação não devem ser descartadas. Queiroz e Bodstein (2010) propuseram o consorciamento intermunicipal como opção para o enfrentamento de enchentes e deslizamentos de massa em municípios de pequeno porte. Os autores enfatizam cinco pontos, a saber:

- 1) o emprego do consórcio em Defesa Civil como alternativa para o enfrentamento de desastres de origem hídrica em municípios brasileiros de pequeno porte. Não obstante, seu emprego efetivo demanda, além do reconhecimento da relevância do problema, vontade política e assessoria técnica adequadamente capacitada;
- 2) a ocorrência de desastres naturais é produto das características do processo de desenvolvimento humano local, donde nenhuma Política de Defesa Civil poderá se revelar efetiva se desvinculada de programas de promoção de sustentabilidade local, visto que as intervenções antrópicas desordenadas configuram o principal fator condicionante dos desastres hídricos de maior morbidade social, como é o caso das enchentes e dos deslizamentos de massa;
- 3) os municípios de pequeno porte são mais vulneráveis aos impactos decorrentes dos desastres de origem hídrica, principalmente naqueles em que há comprometimento massivo da infraestrutura de apoio às atividades de vida diária, como é o caso das enchentes e dos deslizamentos de massa;
- 4) as práticas de consorciamento proporcionam aos municípios de pequeno porte os meios necessários ao exercício da autonomia a eles consignada pela Constituição de 1988, mas é uma opção entre as já existentes, possuindo vantagens e desvantagens que lhe são próprias;
- 5) a estrutura de suporte às ações em Defesa Civil nos municípios de pequeno porte não responde de forma efetiva ao enfrentamento dos desastres de origem hídrica, até porque em muitos casos é inexistente ou apenas formalmente constituída, como pré-requisito ao recebimento de recursos das esferas estadual e federal, em caso de decretação de estado de emergência ou de calamidade pública.

A ideia de consorciamento é particularmente relevante não somente por instrumentalizar a partilha de recursos, mas é e principalmente é por favorecer a incorporação do conceito de parceria ao ideário social (QUEIROZ e BODSTEIN, 2010).

Outro aspecto relevante é o comportamento social diante do problema, que sistematicamente não vem ultrapassando o nível da solidariedade nas situações de emergência ou de calamidade. Isto aponta para a necessidade de que os currículos escolares venham a se ocupar de forma mais efetiva da preparação de um cidadão mais consciente e participativo, capaz de contribuir direta e efetivamente para a escolha das melhores práticas possíveis de defesa de seus interesses (QUEIROZ e BODSTEIN, 2010).

No âmbito das ações governamentais, também é necessário integrar a PNDC a programas de promoção de sustentabilidade local. Essa vertente de intervenção tem sido pouco explorada, pelo que se reveste de particular importância expor uma experiência bem-sucedida, o que será visto a seguir.

2.4 MODELAGEM HIDROLÓGICA DE ENCHENTES

A UNISDR disponibiliza o portal de conhecimento de Informações Espaciais de Gerenciamento de Desastres e Resposta de Emergências. Essa prática de gestão mostra como ferramentas SIG e modelagem é usada para calcular áreas de inundação simuladas com base no uso da terra, solo, altitude e dados meteorológicos. Simulações de inundações podem ser usadas para apoiar a tomada de decisão sobre possíveis mudanças de uso da terra (UNISDR, 2014).

Neste aspecto, a prevenção e a modelagem de enchentes constituem processos de transformação da precipitação em um hidrograma de cheias e à tradução do que hidrograma corresponde a uma bacia hidrológica ou qualquer outro sistema hidrológico. O objetivo desta prática é fornecer orientação sobre como determinar as extensões de áreas inundadas. Utilizando modelo de dados hidráulicos integrados à ferramenta SIG para modelar os riscos de inundação.

Para tanto, mapas de inundações são utilizados para avaliação dos danos e gestão de riscos. Além disso, a coordenação das atividades de emergência durante os eventos de inundação pode ser afetado positivamente pelo uso correto da informação de mapas. É também muito importante a calibração e validação de modelos hidráulicos para reconstruir o que aconteceu durante a cheia e para determinar e monitorar a extensão das áreas inundadas, proporcionando uma estimativa quantificável da área de terra e infraestrutura afetada por inundações. Prevenção e modelagem de inundação geralmente envolvem descrições aproximadas dos processos de transformação chuva-vazão.

Estas descrições são baseadas em um modelo de base física - empíricas, ou baseados em fisicamente, ou combinadas dos processos físicos envolvidos. Embora, as concepções possam negligenciar ou simplificar alguns dos processos de transporte hidrológico subjacentes, os modelos resultantes são bastante úteis, na prática, porque são simples e fornecer estimativas adequadas de hidrogramas de inundação. O SIG é uma ferramenta poderosa nas aplicações de recursos hídricos, como a avaliação de risco de inundação e

mapeamento em várias escalas. Hidrólogos utilizam a tecnologia SIG para integrar diversos dados e aplicativos em um único sistema manejável.

Como vantagens da modelagem, podem se citar:

Ferramenta eficiente para prever riscos de inundação em potencial para as áreas vulneráveis;

Útil para o desenvolvimento de estratégias de prevenção locais;

Útil para a facilitação da resposta de emergência e coordenação esforços durante eventos extremos;

Melhoria da acessibilidade da informação;

Armazenamento de informação que pode ser útil em situações futuras.

Como limitações, tem-se:

Dados de terreno (MDT) altamente precisos são necessários;

Disponibilidade de dados observacionais para avaliação de modelo;

Calibração do modelo hidrológico requer o conhecimento da área de estudo e experiência;

Alta sensibilidade às condições de contorno.

2.5 MODELAGEM HIDRÁULICA DE ENCHENTES COM A FERRAMENTA HEC-RAS

Segundo CHAGAS (2009), o HEC-RAS (*Hydrologic Engineer Center ó River Analysis System*), versão 5.0, é um software desenvolvido pelo Centro de Engenharia Hidrológica da Corporação de Engenharia dos Estados Unidos da América (USACE). É composto por três módulos integrados: hidrodinâmico, transporte de sedimentos e qualidade de água.

O modelo numérico empregado no HEC-RAS simula o escoamento em canais em superfície livre (naturais e artificiais), permitindo o cálculo e análises hidráulicas com escoamento unidimensional em regime permanente e não permanente. Os modelos de escoamento hidráulico adotados podem ser subcríticos, supercríticos ou misto.

Segundo CHOW (1959) os modelos que descrevem o escoamento em canais livres são classificados em hidrológicos e hidráulicos. Os modelos hidrológicos se caracterizam por desprezarem a equação de quantidade de movimento, considerando apenas o efeito do armazenamento do escoamento, Os modelos hidráulicos ou hidrodinâmicos são aqueles que utilizam o conjunto de equações de Saint-Venant, na sua forma simplificada ou completa,

para representar o escoamento não-permanente, a equação da continuidade e a equação da quantidade de movimento.

CASTILHO (2005), explica que durante a utilização do modelo é necessário calibrá-lo e validá-lo, ou seja, usar um grupo de dados para definir os parâmetros do modelo e outro para reproduzir o fenômeno numa situação distinta. No cálculo do perfil da linha d'água através do *Standard Step Method* os parâmetros a serem calibrados são: os coeficientes de contração ou expansão; e o de rugosidade do canal principal e das margens de cada uma das seções transversais. Os dados usados na calibração são as características das seções transversais, as vazões, as marcas de cheia e as informações do monitoramento de níveis. O modelo é calculado a partir de condições de contorno referentes às seções de controle em jusante ou montante.

2.5.1 Definição da superfície da água para escoamento permanente¹

A equação unidimensional de conservação da energia (teorema de Bernoulli) pode ser expressa da seguinte forma:

$$h_1 + y_{f1} + \alpha_1 \cdot \frac{U_1^2}{2g} = h_2 + y_{f2} + \alpha_2 \cdot \frac{U_2^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

onde:

y_{fn} cota do fundo, em m.

h altura de água em relação ao fundo do canal, em m.

coeficiente de Coriolis.

h_e perda de carga total, em m.

U velocidade, em m/s.

g aceleração da gravidade, em m/s².

Na Figura 4, representa-se cada um dos termos da equação (1).

Esta equação permite relacionar as diferentes formas de energia mecânica, mais especificamente, a energia cinética, potencial e de pressão.

Num estirão de rio existem, normalmente, diversas singularidades, tais como pilares de pontes, diques, etc. Estas geram perdas de carga localizadas, pelo que na equação (1) deverá adicionar-se esse efeito (E). Neste caso, considera-se $E=0$, excetuando as perdas localizadas associadas a estrangulamentos ou alargamentos.

¹ Adaptado de UFF/FEC (2010).

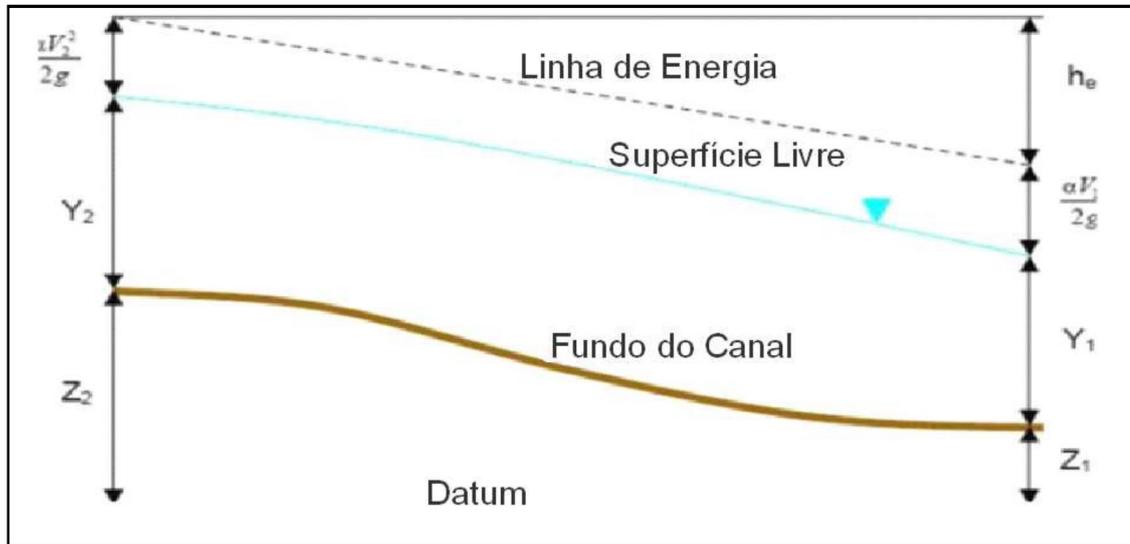


Figura 4 ó Representação gráfica da linha de energia
 Fonte: Adaptado de Brunner, 2001.

2.5.2 Perdas de carga

As perdas de carga existentes entre cada duas seções transversais, representam a soma de duas componentes: contínua e localizada.

A perda de carga contínua devido ao atrito (LJ), ou seja, devido à ação das tensões tangenciais, é definida pela equação de Manning-Strickler:

$$Q = K \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot J^{1/2} \quad (2)$$

onde:

Q vazão, em m³/s.

K coeficiente de Manning, é igual a 1/n, em unidades SI.

A área da seção líquida, em m.

R raio hidráulico, em m.

Desta forma, a perda de carga total pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$J\Delta x = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot U_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot U_1^2}{2g} \right| \quad (3)$$

onde:

x distância entre as seções 1 e 2, em m.

- J perda de carga unitária média entre as seções 1 e 2, em m/m.
 L comprimento médio do trecho, em m.
 C coeficiente de contração/expansão.

Para calcular o comprimento médio de cada trecho (L), HEC-RAS utiliza a seguinte expressão:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot Q_{lob} + L_{ch} \cdot Q_{ch} + L_{rob} \cdot Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (4)$$

onde:

L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} comprimentos entre seções transversais, margem esquerda, eixo do canal e direita, respectivamente. No nosso caso, considerou-se este valor igual em todo o comprimento do trecho, ou seja, se os perfis distam x, todos estes comprimentos têm essa distância.

Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob} média aritmética das vazões entre as seções.

Para determinar a capacidade total de transporte, o HEC-RAS utiliza o método das seções compostas, ou seja, divide o escoamento em três unidades distintas, em cada uma das quais a velocidade é considerada uniformemente distribuída, conforme Figura 5.

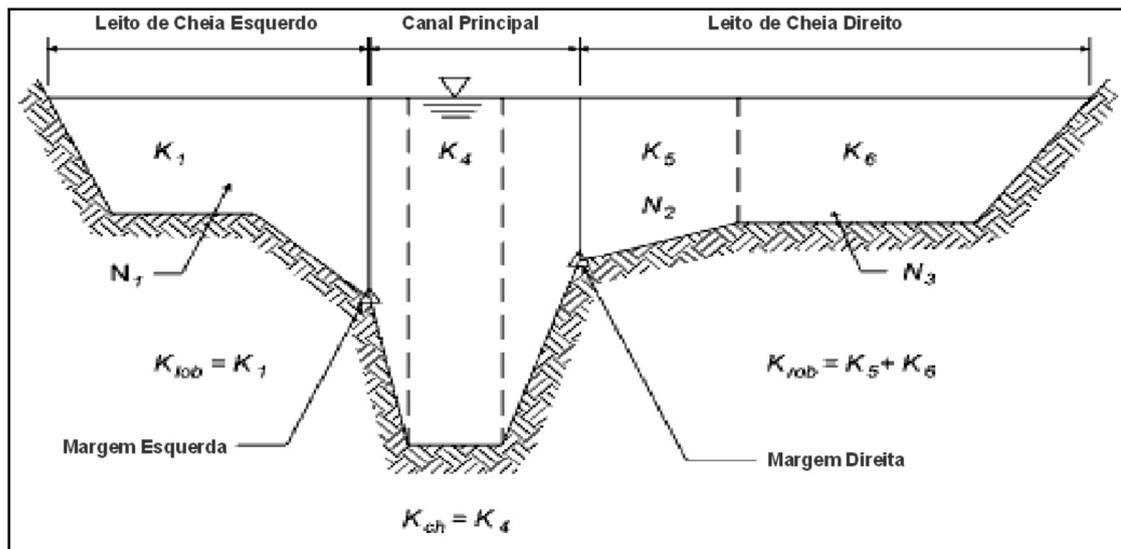


Figura 5 Divisão do leito em subdivisões para determinação da capacidade total de transporte
 Fonte: Adaptado de Brunner (2001)

Para avaliar a perda de carga devido à resistência ao escoamento, o HEC-RAS efetua o produto dos comprimentos médios do trecho com o seu declive, tal como é representado no primeiro componente da soma na equação (3). Para obter o declive, o software utiliza a seguinte equação padrão:

$$J = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (5)$$

Torna-se, portanto, essencial uma seleção apropriada do coeficiente de Manning-Strickler. Este valor depende de vários fatores, tais como (BRUNNER, 2001): rugosidade; vegetação; irregularidades do canal; obstruções; tamanho das partículas e forma do canal; temperatura e material suspenso.

No que se refere às perdas por contração e expansão, estas são avaliadas pelo segundo componente da soma representada na equação (3). O software assume a existência de contração sempre que exista um aumento de velocidade de montante para jusante, e no caso contrário (expansão) uma diminuição de velocidade. Na Tabela 1, estão representados os valores típicos recomendados para o valor de C (coeficiente de contração/expansão).

Tabela 1 ó Coeficientes de contração e de expansão

	Contração	Expansão
Prismático ó sem transição	0.0	0.0
Transição gradual	0.1	0.3
Seções típicas de pontes	0.3	0.5
Transições abruptas	0.6	0.8

Fonte: Adaptado de Brunner (2001)

Neste estudo, consideraram-se os valores correspondentes a transições graduais.

2.5.3 Energia específica e altura crítica

A energia específica representa a altura da linha de energia acima do fundo do canal. Esta pode ser transcrita pela seguinte expressão:

$$E = h + \frac{U^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

onde:

E energia específica, em m.

Fixando a seção transversal, a equação anterior toma a seguinte forma:

$$E = h + \frac{Q^2}{2g \cdot A^3} \quad (7)$$

A equação (7) apresenta um valor mínimo quando:

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot A^3} \cdot \frac{dA}{dh} = 0 \quad (8)$$

Este valor mínimo corresponde à menor energia específica com que uma determinada vazão Q pode escoar na seção transversal considerada na análise. Nesta situação, estamos num regime de escoamento crítico, sendo h_c a sua altura crítica. O HEC-RAS determina a altura crítica nas seguintes situações: regime rápido especificado; cálculo da altura crítica requerida pelo utilizador; cálculo do número de Froude, para verificar o regime de escoamento; quando existe uma condição de controle hidráulico na seção transversal, garantindo-se após análise da altura crítica que o utilizador definiu bem essa seção de controle.

A altura crítica é avaliada por um processo iterativo, através do qual se assumem valores de h e os valores correspondentes de E , até se encontrar o valor mínimo. O HEC-RAS possui dois métodos para avaliar a altura crítica: Método Parabólico e Método Secante.

2.5.4 Equação de conservação da quantidade de movimento

Se a linha de água passar a altura crítica, a equação da energia deixa de ser aplicável, tratando-se de uma situação de escoamento rapidamente variado. Existem diversas situações em que podem ocorrer escoamentos rapidamente variados, denominadas mudanças significativas de declive no rio, soleiras, estreitamentos, pontes e junções. Em alguns destes casos, podem ser aplicadas equações empíricas, em outras é necessário aplicar a equação de conservação da quantidade de movimento para se obter uma resposta (BRUNNER, 2001).

No que concerne ao HEC-RAS, a equação da quantidade de movimento pode ser aplicada para os seguintes problemas específicos: ocorrência de ressaltos hidráulicos; escoamento hidráulico em pontes e junções (BRUNNER, 2001).

Esta equação deriva da segunda lei de Newton. Se esta for aplicada a um volume de controle entre duas seções transversais consecutivas, conforme pode ser observado na Figura 6 obtém-se a seguinte expressão:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = \beta \cdot Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (9)$$

onde:

P força da pressão hidrostática nas seções 1 e 2, em N.

W_x força devido ao peso da água na direção x, em N.

F_f força devido a perdas externas por atrito de 1 para 2, em N.

Q vazão, em m³/s.

ρ densidade, em kg/m³.

V_x mudança na velocidade de 1 para 2, na direção x, em m/s.

β coeficiente de quantidade de movimento.

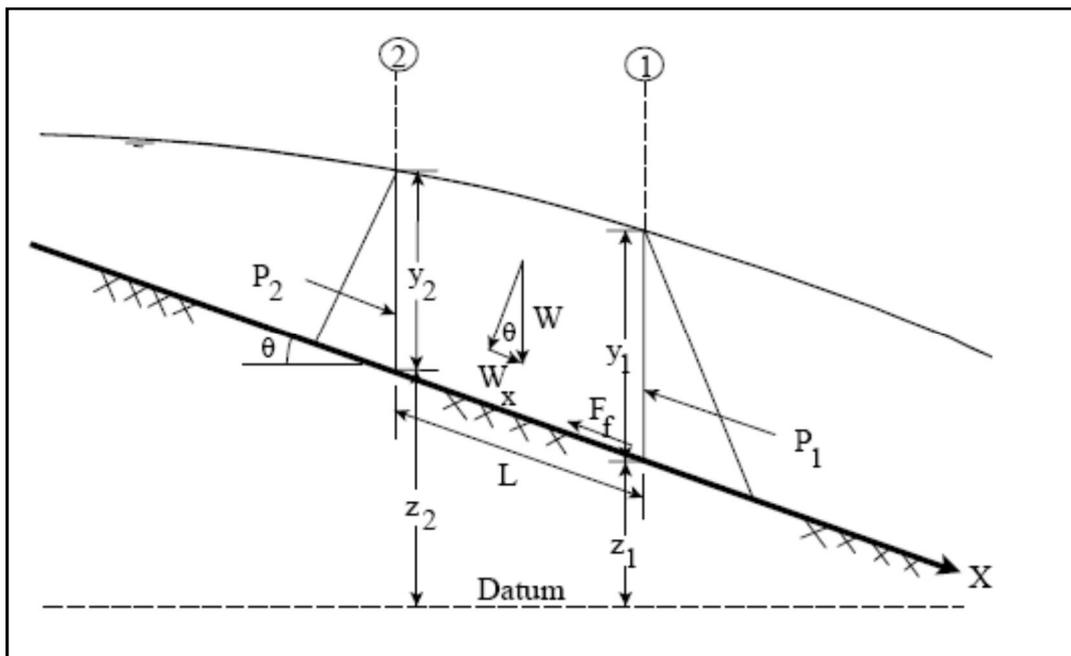


Figura 6 ó Aplicação da quantidade de movimento

Fonte: (Brunner, 2001)

A força hidrostática de pressão pode ser calculada por recurso à seguinte equação:

$$P = \gamma \cdot A \cdot y \cdot \cos \theta \quad (10)$$

A hipótese de distribuição hidrostática de pressões é somente válida para declives menores que 1:10 e linhas de corrente retilíneas. Para declives inferiores a 1:10, o cosseno é

aproximadamente 1. Pelo fato de que o declive dos canais comuns ser bem menor que 1:10, então a correção do co-seno para a profundidade pode ser negligenciada. Deste modo, as equações para a pressão hidrostática assumem neste trabalho um co-seno igual a 1.

O peso de água pode ser determinado da seguinte forma:

$$W_x = \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L' \cdot \text{sen}\theta \quad (11)$$

onde:

massa volumétrica (kg/m^3);

L' distância entre as seções 1 e 2 ao longo do eixo X, em m;

ângulo de inclinação do leito do canal, em graus.

A força de resistência ao escoamento pode ser obtida por:

$$F_f = \tau \cdot P' \cdot L' \quad (12)$$

onde:

tensão de arrastamento junto ao fundo, N/m^2 ;

P' perímetro molhado médio, em m.

sendo:

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot J \quad (13)$$

Finalmente:

$$Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x = \frac{Q \cdot \gamma}{g} \cdot (\beta_2 \cdot U_2 - \beta_1 \cdot U_1) \quad (14)$$

Substituindo as diversas equações apresentadas anteriormente, obtém-se:

$$\gamma \cdot A_1 \cdot y_1 - \gamma \cdot A_2 \cdot y_2 + \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L' \cdot (\text{sen}\theta \cdot J) = \frac{Q_2 \cdot \gamma}{g} \cdot \beta_2 \cdot U_2 - \frac{Q_1 \cdot \gamma}{g} \cdot \beta_1 \cdot U_1 \quad (15)$$

$$\frac{Q_1^2 \cdot \beta_1}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot y_1 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L' \cdot (\text{sen}\theta - J) = \frac{Q_2^2 \cdot \beta_2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot y_2 \quad (16)$$

Esta última equação é a forma funcional da equação de conservação da quantidade de movimento utilizada em HEC-RAS. Neste trabalho, considerou-se $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$.

2.5.5 Condições de contorno

Dados de escoamento permanente são necessários a fim de executar um cálculo perfil de superfície de água constante. Dados de fluxo estável consistem em: regime de fluxo; condições de contorno, informações de descarga de pico.

Regime de escoamento no HEC-RAS: Computação de perfil da superfície d'água inicia na seção transversal conhecida, ou mesmo assumida, iniciando as condições iniciais, e proceder sentido montante para regime sub-crítico ou jusante para super-crítico. O regime de escoamento (super-crítico, sub-crítico ou misto) é especificado na janela de Análises da interface. Perfis sub-críticos computados pelo programa são direcionados para profundidade crítica ou acima, enquanto perfis super-críticos são direcionados forçados para profundidade crítica ou abaixo. Em casos específicos quando o regime de escoamento modifica de sub-crítico para super-crítico, ou sentido contrário, o programa deve ser processado em regime de escoamento misto.

Condições externas de contorno no HEC-RAS: As condições de contorno são necessárias para estabelecer a superfície d'água inicial na extremidade do sistema fluvial (montante ou jusante). A superfície d'água inicial é o dado de entrada do programa para início do processo de cálculo. Em regime de escoamento sub-crítico a condição de contorno é somente necessária na extremidade jusante. No caso de regime de escoamento super-crítico, a condição de contorno é referenciada pela extremidade montante. O programa disponibiliza opções de condições externas de contorno que podem ser aplicadas nas seções de controle da extremidade do sistema fluvial (montante ou jusante). Os quatro tipos de condições de contorno externa disponível ao usuário são: elevação da superfície d'água conhecida (o usuário deve inserir a elevação do nível d'água conhecido na extremidade para cada um dos perfis selecionados); altura crítica (o programa calcula a profundidade crítica para cada um dos perfis); altura normal (o usuário precisa fornecer a inclinação de energia que será usada para o cálculo da altura normal, geralmente, a declividade pode ser aproximada pela média da declividade do canal, ou pela média da

declividade da superfície d'água conforme as seções transversais) e, curvas de classificação (correlaciona a elevação versus a curva de classificação da vazão).

Informações de descarga de pico: definição das vazões associadas aos tempos de retorno a serem adotadas nas simulações.

A condição de contorno externa adotada nessa pesquisa será a da altura normal.

2.5.6 Interpolação de seções transversais

Interpolação de seções transversais durante a modelagem hidráulica ocasionalmente é necessário para complementar a transição entre duas seções consecutivas. A interpolação também é aplicada quando a mudança na energia cinética é muito grande para determinar de forma precisa a alteração no gradiente da energia. A Figura abaixo representa o modelo de interpolação utilizado que consiste na conexão de pontos característicos entre duas seções transversais conhecidas. Os principais pontos conhecidos são os da margem direita e esquerda; coordenada inicial e final; Datum, corda mestre e secundária (responsáveis pela referência da margem do rio).

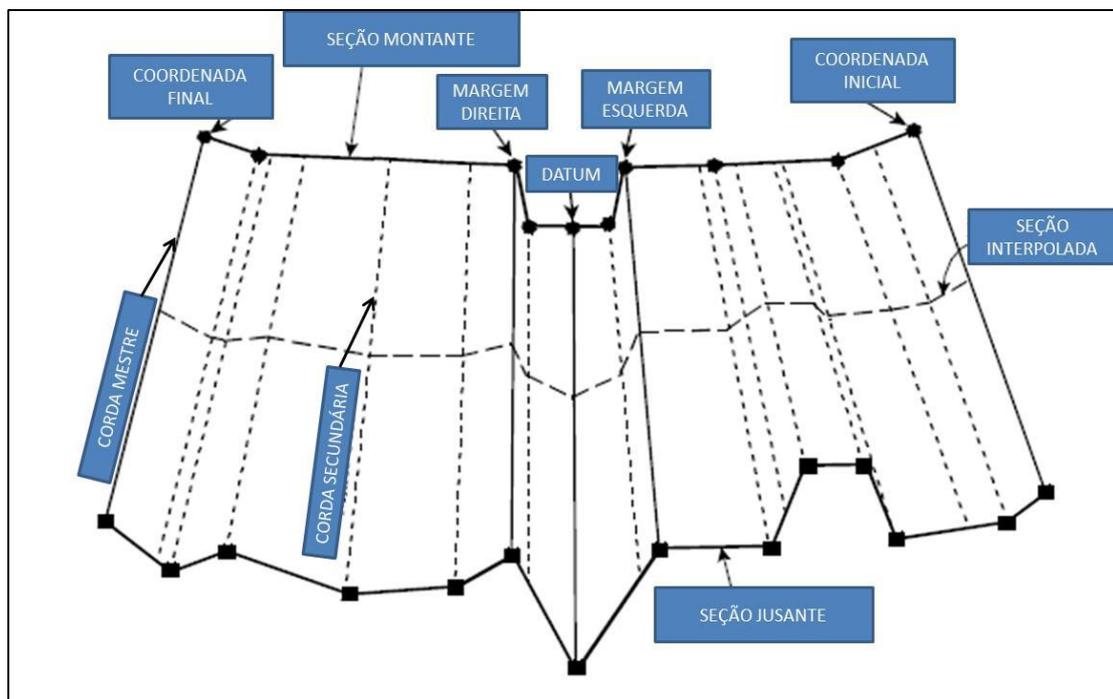


Figura 7 - Modelo de interpolação de seções transversais
 Fonte: Adaptado de Brunner (2001)

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

Segundo CEIVAP (2006), a bacia do rio Muriaé tem uma área de drenagem de 8.200km². Ela abrange territórios pertencentes a 26 municípios no território nacional, sendo 19 municípios mineiros e 7 fluminenses, dentre os quais estão: Laje do Muriaé, São José de Ubá, Varre- Sai, Porciúncula, Natividade, Muriaé, Carangola e Itaperuna, sendo estes últimos, municípios com mais de 20 mil habitantes. Conforme informações desse mesmo Plano, o rio Muriaé nasce no município de Mirai a aproximadamente 900 m de altitude, pela confluência dos rios Bom Sucesso e Samambaia.

No trecho mineiro, o rio se desenvolve em relevo acidentado e de várzeas extensas. Já no Rio de Janeiro, o rio Muriaé, se desenvolve em região plana. Desde a nascente até a foz no Paraíba do Sul, esse rio percorre cerca de 300 km. Formado pela confluência dos rios Bom Sucesso e Samambaia, recebe o nome de Muriaé quando se encontra com o rio Santo Antônio. Este percorre cerca de 300 km até encontrar a sua foz. Seus principais afluentes são:

Rio Fubá: afluente da margem direita e banha a cidade de Mirai.

Rio Preto: afluente da margem esquerda. O ponto de confluência com o rio Muriaé acontece dentro do perímetro urbano da cidade de Muriaé.

Rio Glória: afluente da margem esquerda, a montante da cidade de Patrocínio do Muriaé.

Rio Gavião: afluente a jusante da cidade de Patrocínio do Muriaé. Banha a cidade mineira de Eugénópolis.

Rio Carangola: afluente da margem esquerda.

A bacia do rio Muriaé nasce numa região com o relevo muito acidentado, com altitudes de mais de 900 m nos pontos mais elevados, com áreas de várzeas extensas. Na sua foz a região é plana.

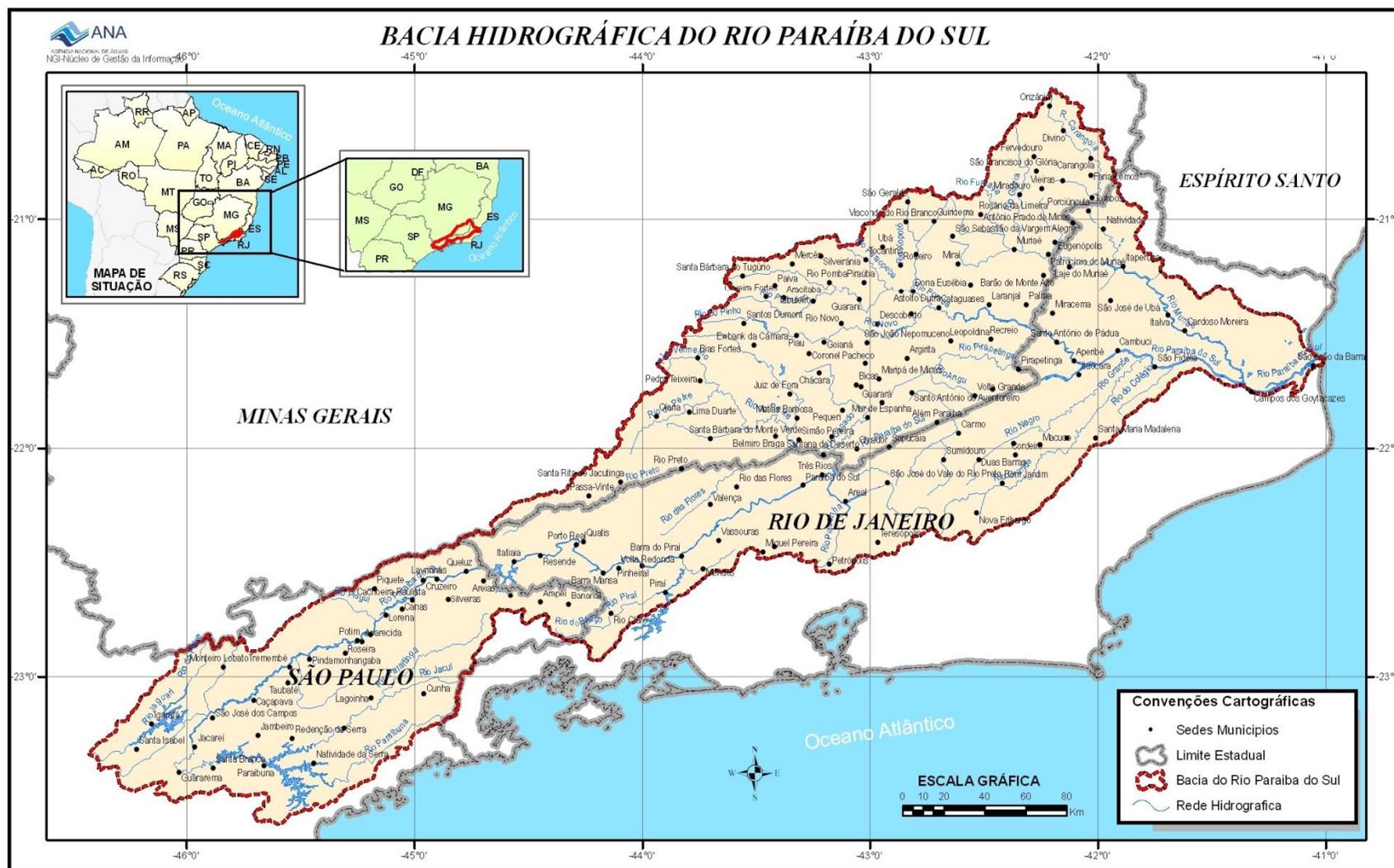


Figura 8 - Mapa hidrográfico
 Fonte: ANA, 2016.

O local proposto para o presente estudo apresenta as coordenadas oficiais relacionadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Coordenadas dos locais em interesse

Em Laje do Muriaé
Latitude: 21.188 E
Longitude: 42.095 N

Estas estão identificadas na Imagem do Software Google Earth, conforme Figura 9. Vale ressaltar que a distância entre o ponto situado em Patrocínio do Muriaé e Laje do Muriaé é de aproximadamente 30 km.



Figura 9 - Delimitação Física das Sub-bacias em Estudo
Fonte: SEA/COHIDRO, 2010.

O limite físico da sub-bacia hidrográfica do rio Muriaé, para os pontos de interesses localizados nos municípios de Patrocínio do Muriaé e Laje do Muriaé, foi delimitado através da Base cartográfica de Eugenópolis-RJ, escala 1:50.000 ó Folha - SF 23 ó X ó D - III - 2 (IBGE, 1978).

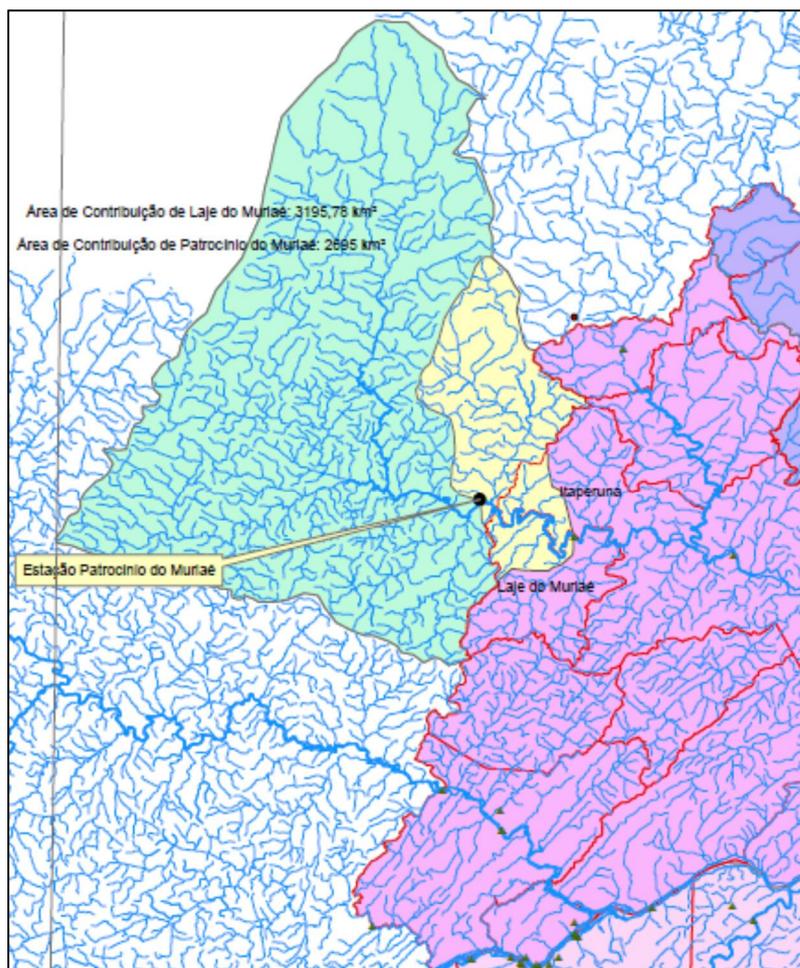


Figura 10 - Área de drenagem de Patrocínio do Muriaé (em verde) e Laje do Muriaé (em amarelo).

Fonte: SEA/COHIDRO, 2010.

Para o ponto localizado no município de Patrocínio do Muriaé, a área de drenagem aproximadamente de 2.696 km², seu comprimento de talvegue aproximado de 92.35 km e o desnível médio vertical da bacia é de 745 m, perfazendo uma declividade para o trecho de 0.0081m/m.

Já para o ponto localizado no município de Laje do Muriaé, a área de drenagem aproximadamente de 3.196 km², seu comprimento de talvegue aproximado de 119.85 km e o desnível médio vertical da bacia é de 801 m, perfazendo uma declividade para o trecho de 0.0067 m/m. A análise das declividades ocorrentes sugere um escoamento suave nessas bacias.

No que diz respeito às inundações, o histórico de vazões do rio Muriaé revela que ocorrem cheias frequentes que inundam o núcleo urbano da cidade. Em intervalos de tempo da ordem de 10 anos, ocorrem cheias que provocam grandes inundações no núcleo urbano e

nas demais áreas baixas da região. As Figuras 11 e 12 mostram algumas imagens dos efeitos das cheias do rio Muriaé na cidade de Laje de Muriaé-RJ.



Figura 11 e Figura 12. Efeitos da cheia em Laje de Muriaé-RJ

Fonte: SEA/COHIDRO, 2010.

A cidade de Laje do Muriaé encontra-se situada na planície marginal esquerda do rio e sofre recorrentemente pelo alagamento de grande parte de seu território, sobretudo das áreas marginais do rio ocupadas por uma população de baixa renda em decorrência de um processo descontrolado de expansão urbana.

Dadas as condições locais, o Governo do Estado do Rio de Janeiro contratou um estudo preliminar de controle de inundações do rio Muriaé, avaliando a aptidão e a potencialidade de algumas áreas virem a atuar como reservatórios, através da construção de barragens de contenção de cheias, reduzindo os efeitos das inundações nos centros urbanos localizados a jusante. O estudo estabeleceu como cheia de projeto a vazão correspondente ao tempo de recorrência de 25 anos e a cheia frequente a vazão para tempo de permanência 95% (SEA/COHIDRO, 2010). A Tabela 3 apresenta os resultados alcançados pelo estudo.

Tabela 3 - Vazão de cheias estimadas para o local de interesse

Parâmetro	Laje do Muriaé
Vazão para TR 25 anos (m³/s)	663,8
Vazão para 95% de permanência (m³/s)	37,6

Fonte: SEA/COHIDRO, 2010.

3.1 METODOLOGIA

O dimensionamento hidráulico do rio Muriaé foi desenvolvido através de base topobatimétrica levantada em campo e auxílio da ferramenta computacional HEC-RAS, além de desenho assistido por computador.

O modelo hidrodinâmico foi elaborado conforme recomendações de construções de mapa de área de risco (UNISDR, 2014), disponível no portal de conhecimento de informações de dados espaciais. As etapas pré-definidas do processo de modelagem são apresentadas no fluxograma adaptado na Figura 13.

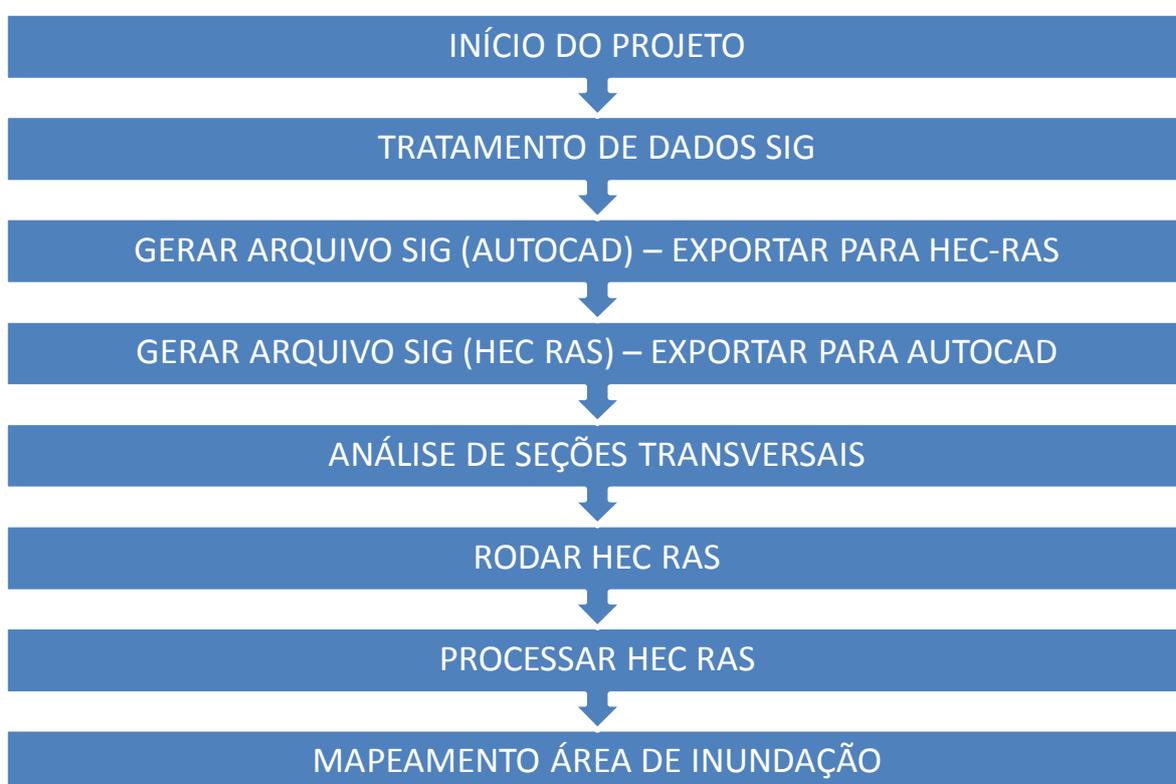


Figura 13 - Fluxograma de dimensionamento hidráulico fluvial

Fonte: Adaptado de UNISDR, 2014.

3.1.1. Análise e tratamento de dados

O mapeamento das áreas inundáveis se inicia com o levantamento, análise e tratamento de elementos de projeto que serão cadastrados em SIG com auxílio de ferramentas computacionais. Os principais elementos de projetos são: aerofotos; levantamento planialtimétrico; levantamento topobatimétrico; delimitação da hidrografia e altimetria, através de MDT (modelo digital de terreno).

A Figura 14 apresenta a ortofotomosaico na escala 1:25.000, folha 2648-2-SE (IBGE, 2008) georeferenciada em coordenadas UTM, Fuso 23, SIRGAS 2000 em ambiente da ferramenta computacional AutoCAD Civil 3D 2015. O trecho urbano de Laje de Muriaé é caracterizado pela proximidade do rio como podemos observar entre os paralelos: N 798.000; E 7.653.000, N 800.000; E 7.653.000.

O eixo e margens do rio foram delimitados com uso do programa AutoCAD 2015, através do recurso *polyline* com pontos médios de 20m de distância e deflexão máxima de 15°. O eixo é apresentado na cor vermelha com aproximadamente 10,5 quilômetros e margens na cor laranja.

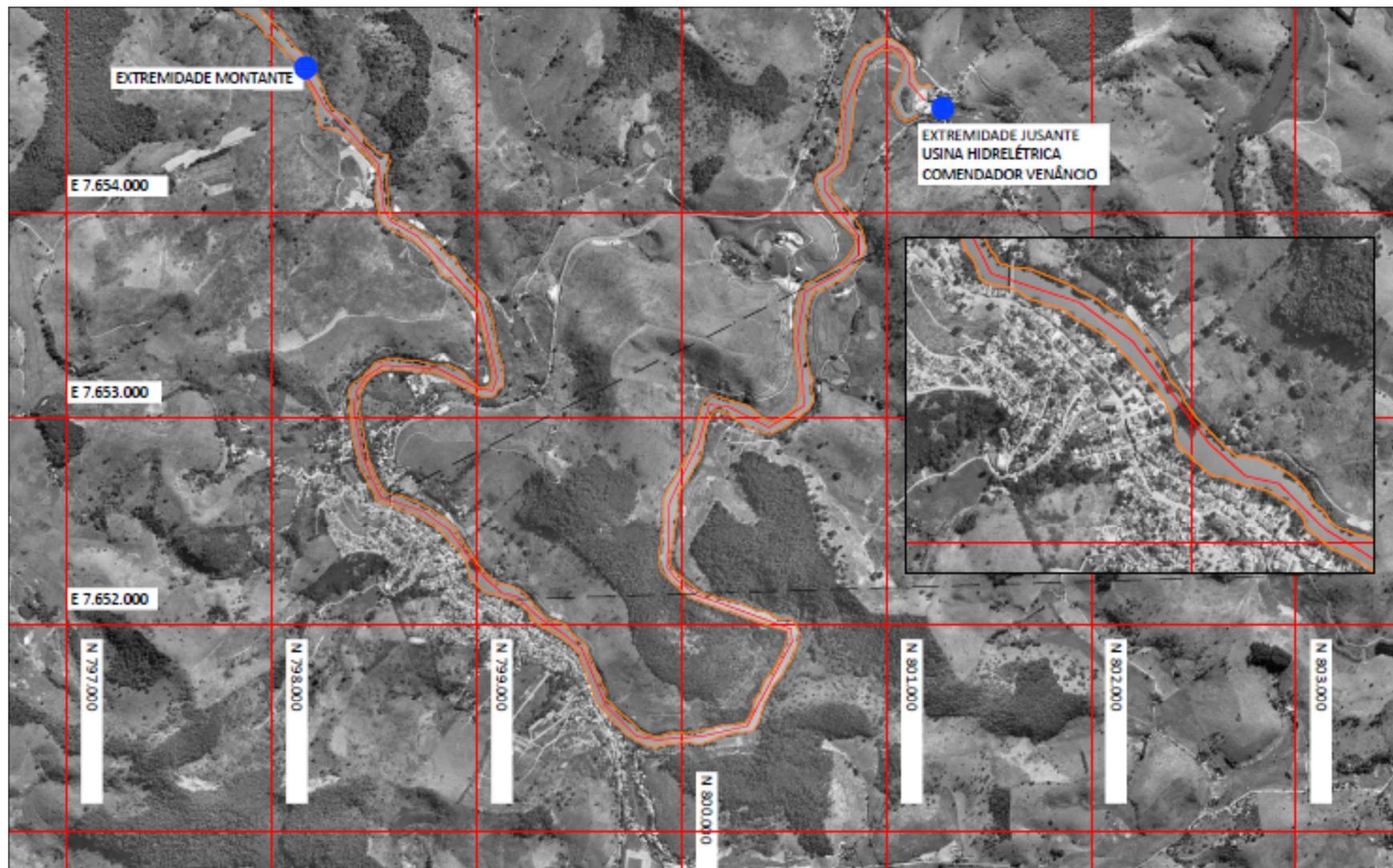


Figura 14 - Imagem aerofotogramétrica com coordenadas UTM, Eixo e Margens do Rio Muriaé

O modelo digital de terreno (MDT) foi constituído através de *laser scanning* e estação total com levantamentos de pontos representando uma distribuição espacial vinculada uma superfície real com curvas de nível de 2 em 2 metros conforme Figura 15. O MDT apresenta qualidade razoável durante sua análise, porém a baixa declividade da região dificulta a precisão da superfície em pontos com baixa variação de cotas do terreno. O tratamento de dados nesta fase consiste na autenticidade e qualidade do levantamento planialtimétrico, além de construção de superfície digital de terreno com uso da ferramenta AutoCAD Civil 3D para possibilitar a integração com o programa HEC-RAS.

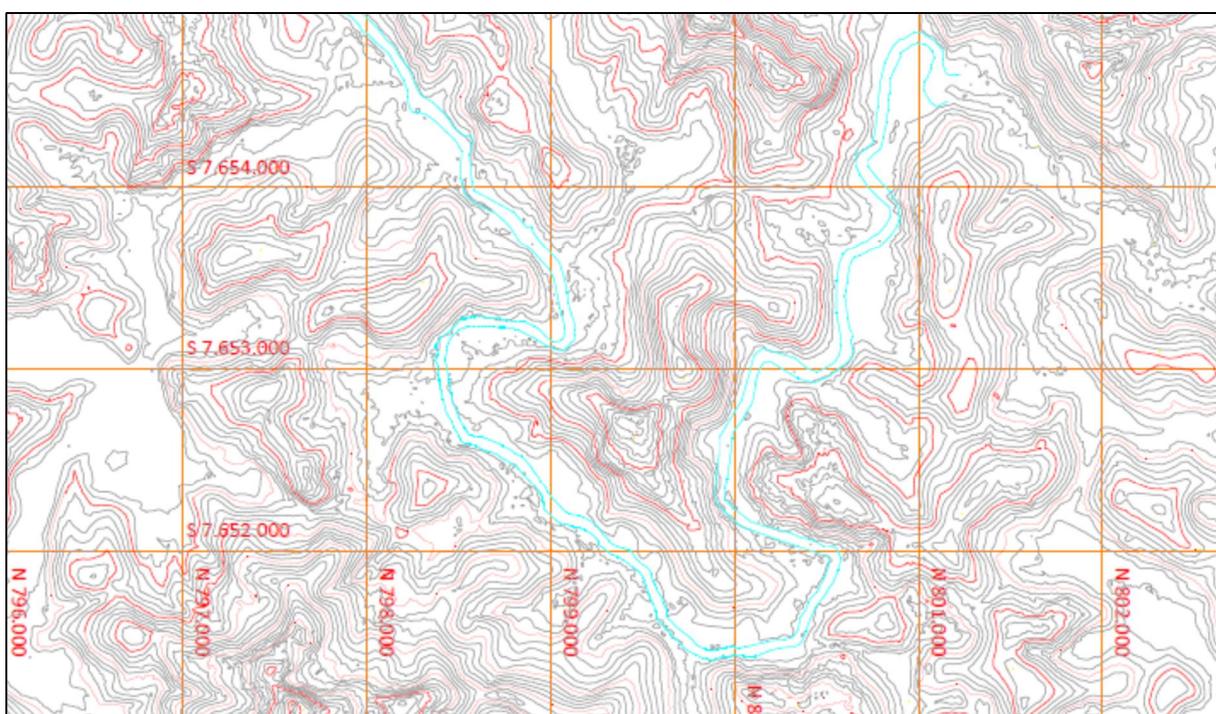


Figura 15 - Mapa topográfico da região estudada

Para iniciar o processo de fornecimento dos dados de entrada da ferramenta HEC-RAS foi criado um arquivo com SIG em extensão AutoCAD reunindo dados topográficos com geometria e plano de seções transversais distribuídas ao longo do trecho, com distância entre 100 e 500m. As seções transversais foram aplicadas em pontos característicos que apresentam mudanças significativas da condição de escoamento.

Segundo UFF/FEC (2010), uma seção transversal deve ser representativa de locais do rio em estudo, bem como de zonas em que ocorram descargas, mudanças de tipologia, rugosidades e interseções. Para além das coordenadas x e y de cada um dos perfis transversais

(sendo x a largura do perfil e y a elevação, ambos em metros, para cada seção) é ainda definida a distância à seção a jusante.

O arquivo em extensão AutoCAD é convertido em arquivo HEC-RAS preservando os dados planimétricos da superfície, elementos geométricos e seções transversais devido à base de dados georeferenciados.

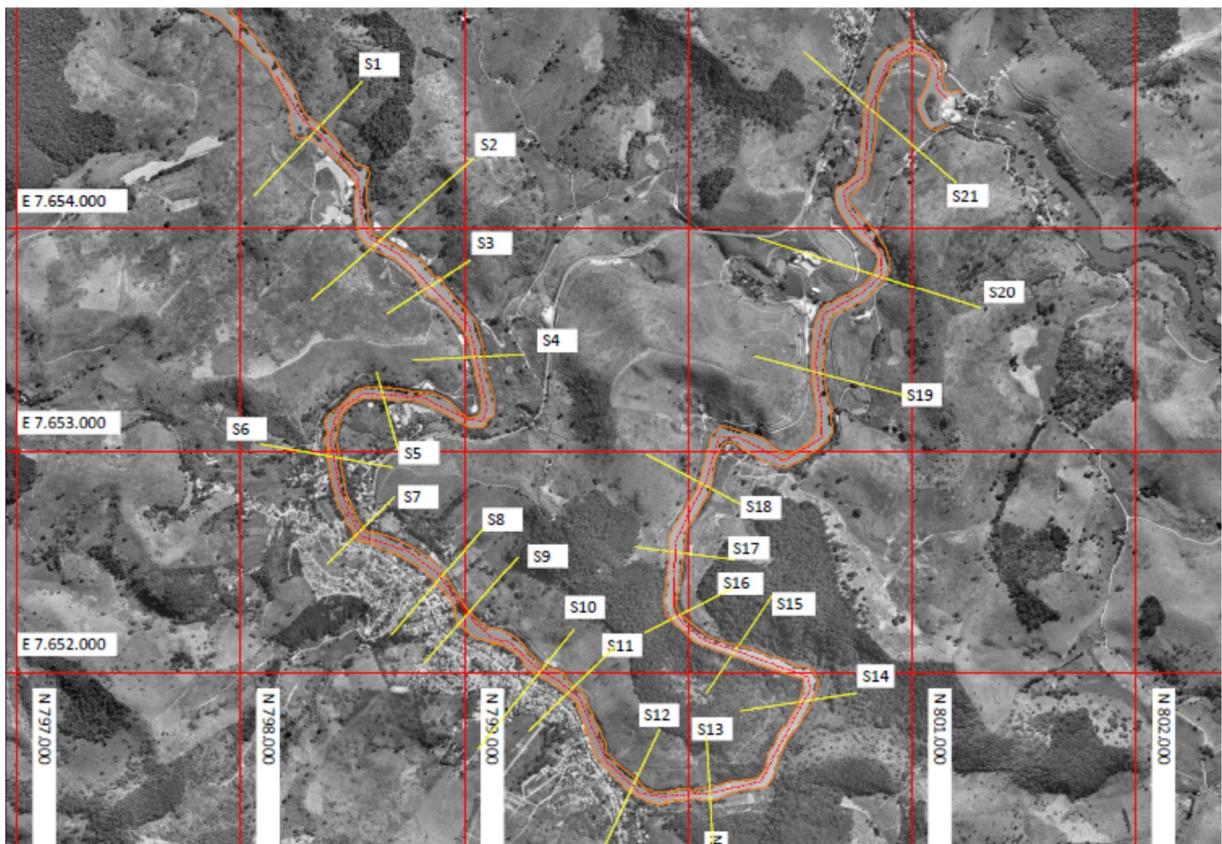


Figura 166 Geometria e plano de seções

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a etapa de exportação de elementos geométricos do rio para o programa HEC-RAS, foi iniciada a etapa de calibração do modelo com a inserção de dados de projeto. Para simulação do comportamento da calha do rio foram adotadas duas vazões:

Vazão mínima representada pela $Q_{95\%}$, ou seja, com permanência de 95% no tempo.

Vazão máxima representada pela $Q_{TR=25 \text{ anos}}$, ou seja, com tempo de recorrência de 25 anos.

Os critérios adotados no processo de dimensionamento foram os seguintes:

Coeficiente Manning: $n=0,045$ - Terreno natural com vegetação moderada, conforme Tabela de valores de coeficientes Manning n , disponível em Brunner (2001);

Regime de escoamento: sub-crítico devido baixa declividade do rio;

Condição de contorno em seção de jusante e aproximação por declividade normal conforme item 2.7.5.

Coeficiente de contração: 0,3;

Coeficiente de expansão: 0,1.

O resultado das linhas de remanso referente aos períodos de retorno analisados apresentaram variações esperadas conforme as vazões fornecidas, como apresentado nas Figuras 17 a 38.

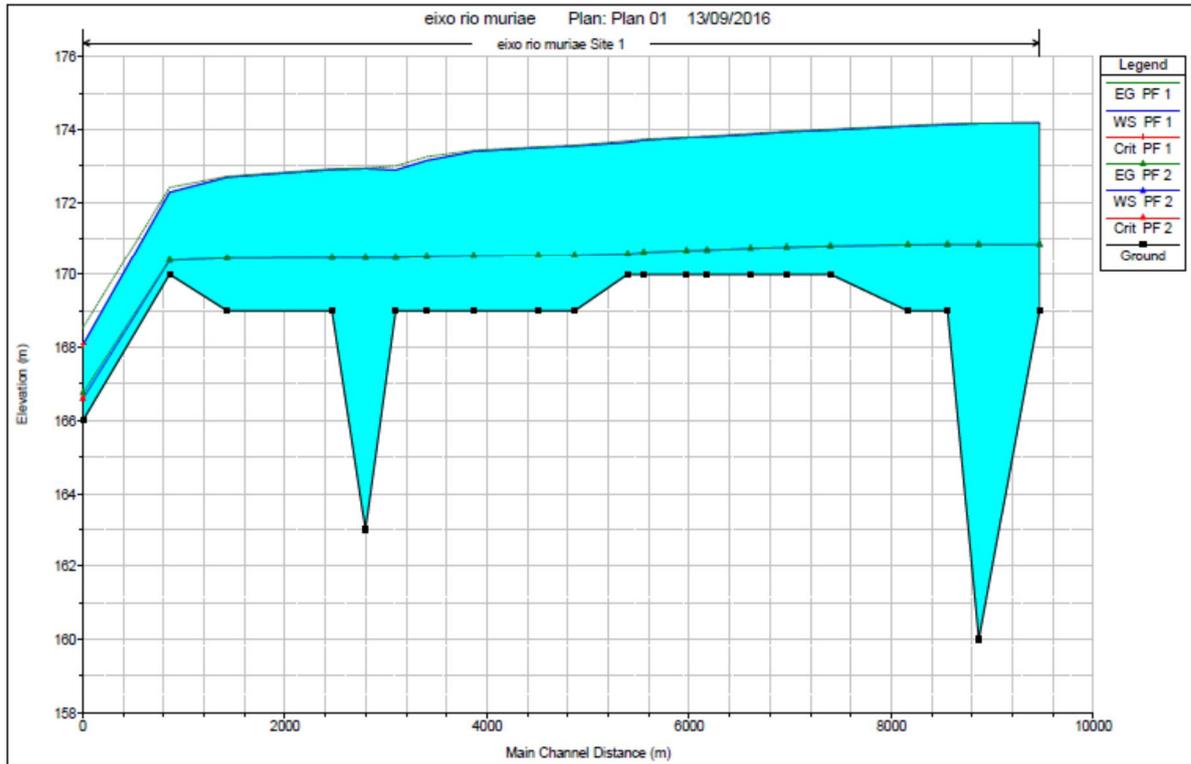


Figura 17 - Perfil longitudinal com as linhas de remanso referentes a $Q_{TR=25}$ anos e $Q_{95\%}$.

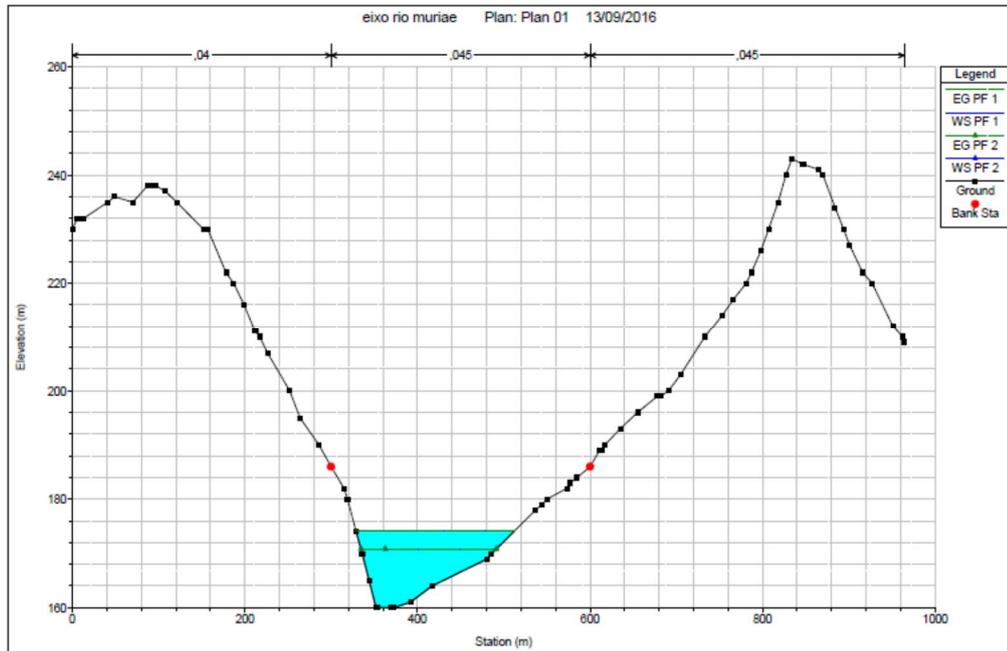


Figura 18 - Seção Transversal 1

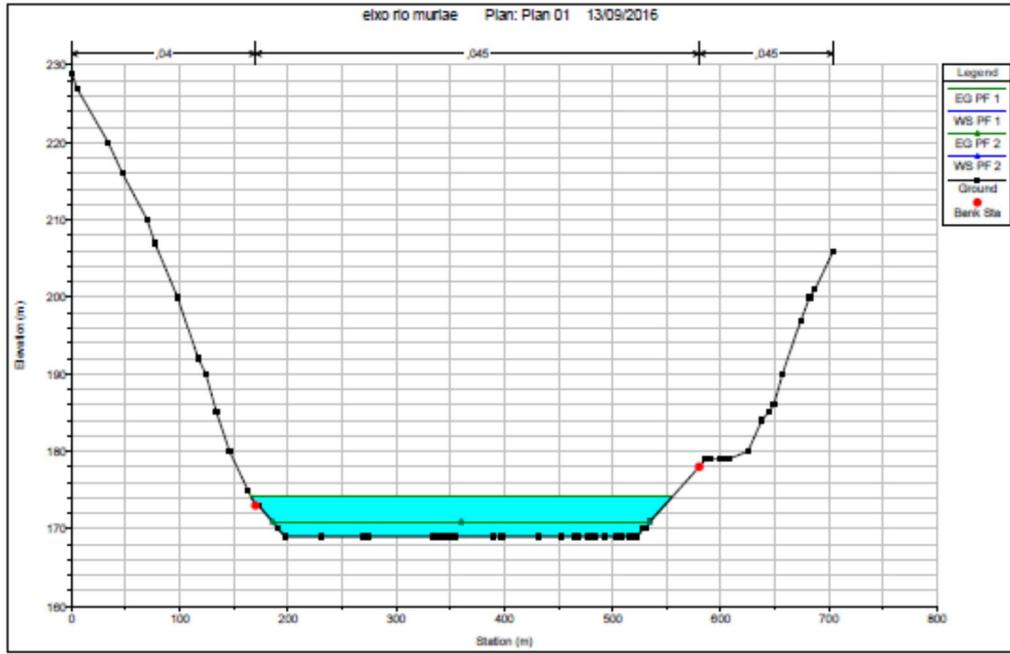


Figura 19 - Seção transversal 2

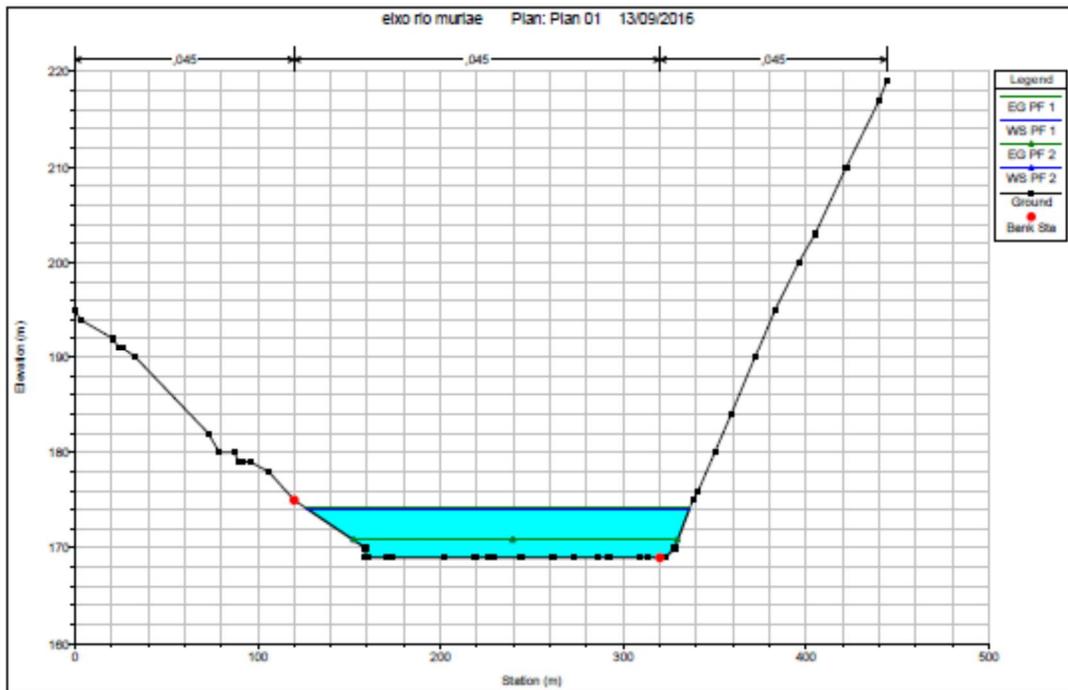


Figura 20 - Seção transversal 3

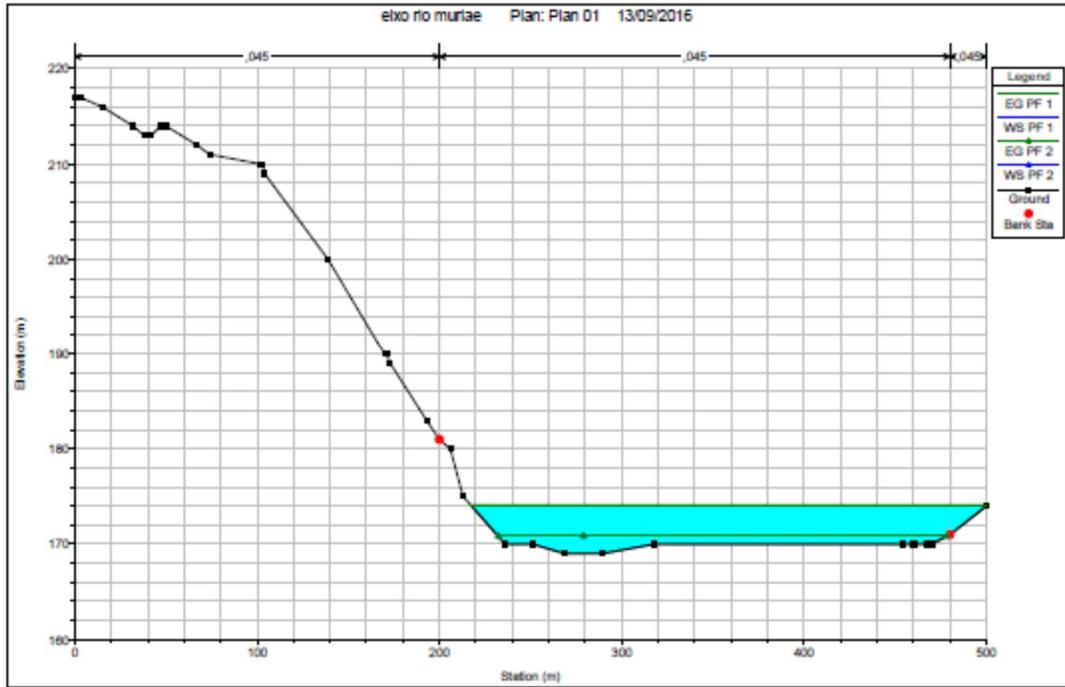


Figura 21 - Seção transversal 4

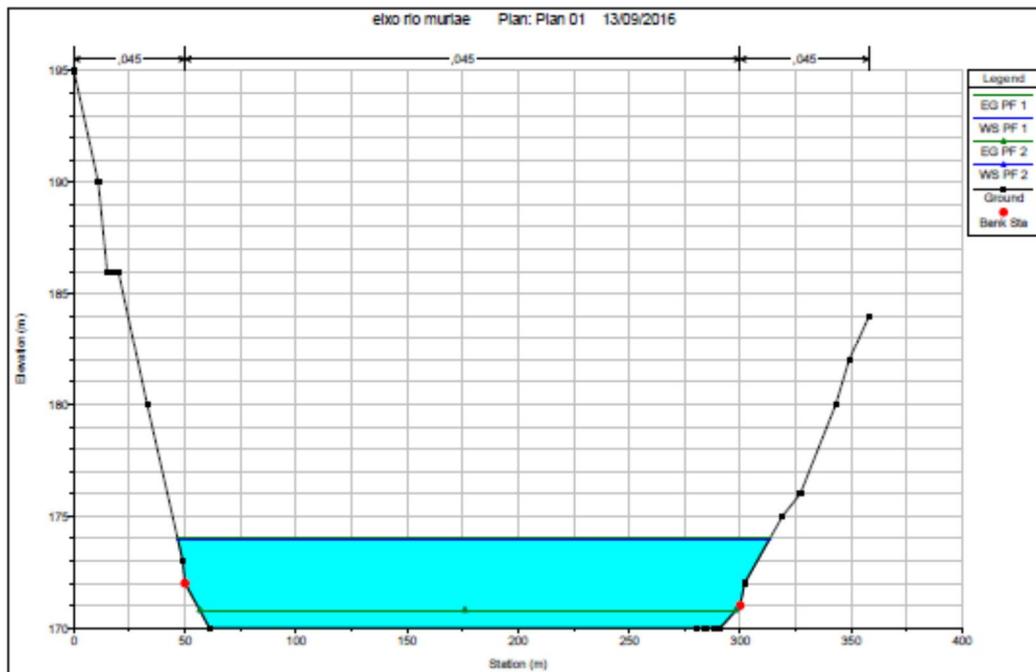


Figura 22 - Seção transversal 5

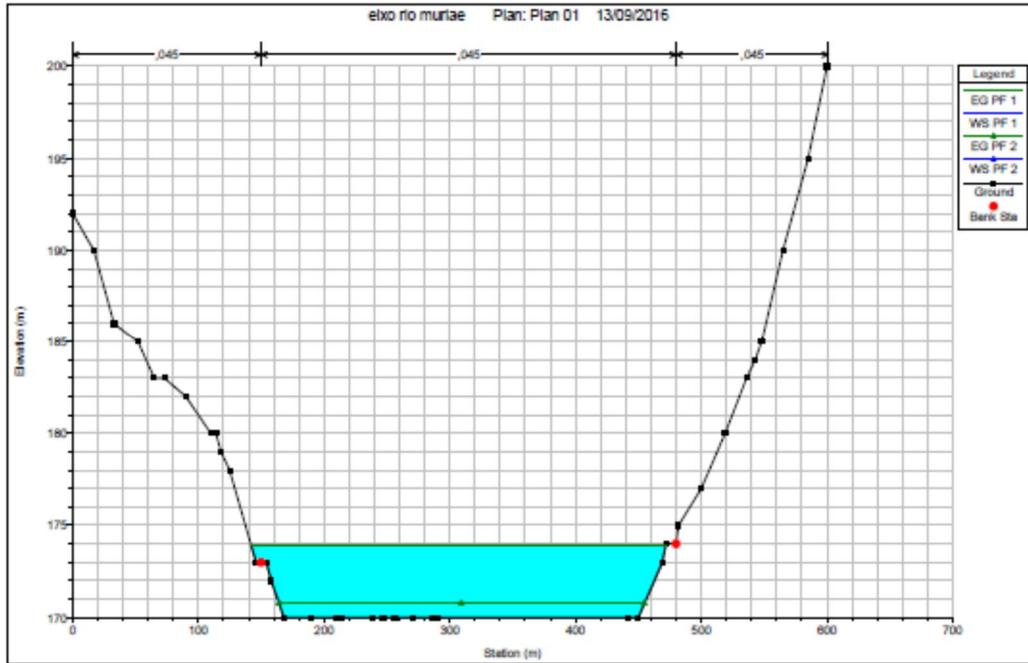


Figura 23 - Seção transversal 6

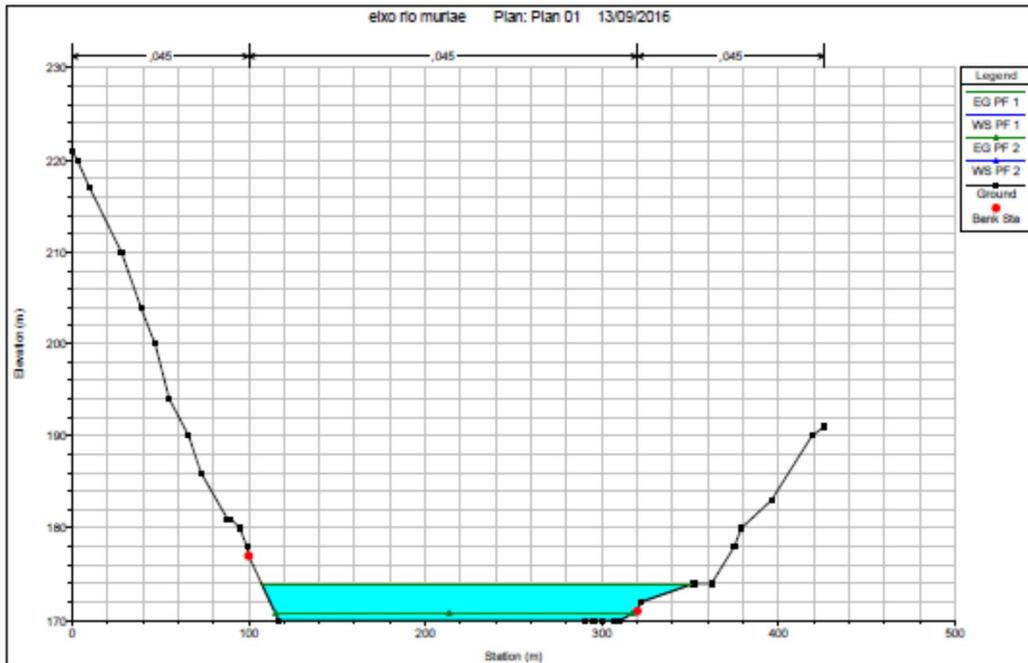


Figura 24 - Seção transversal 7

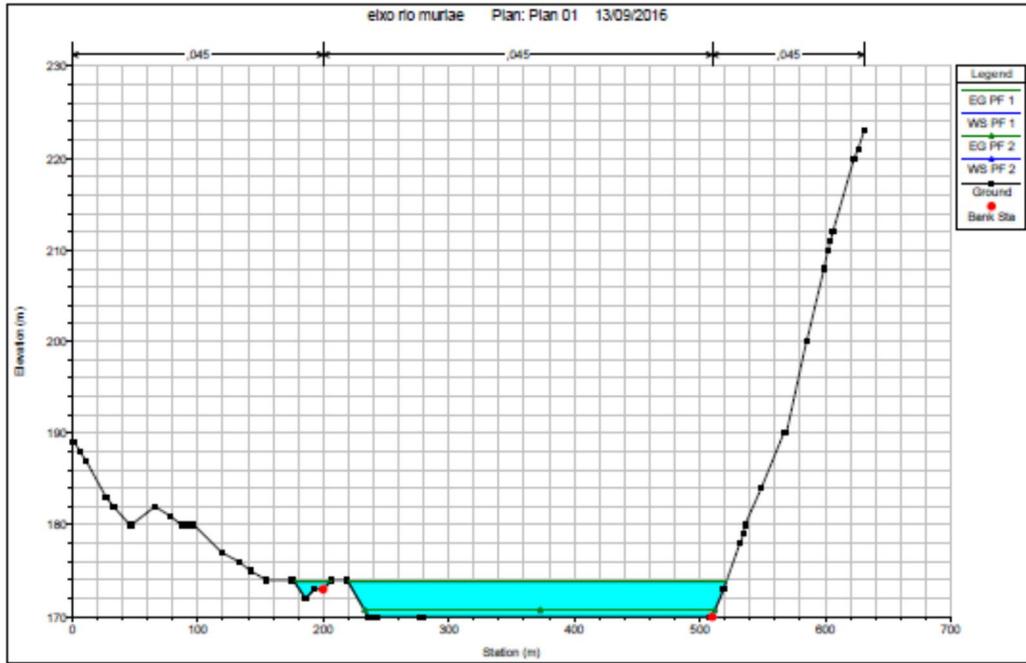


Figura 25 - Seção transversal 8

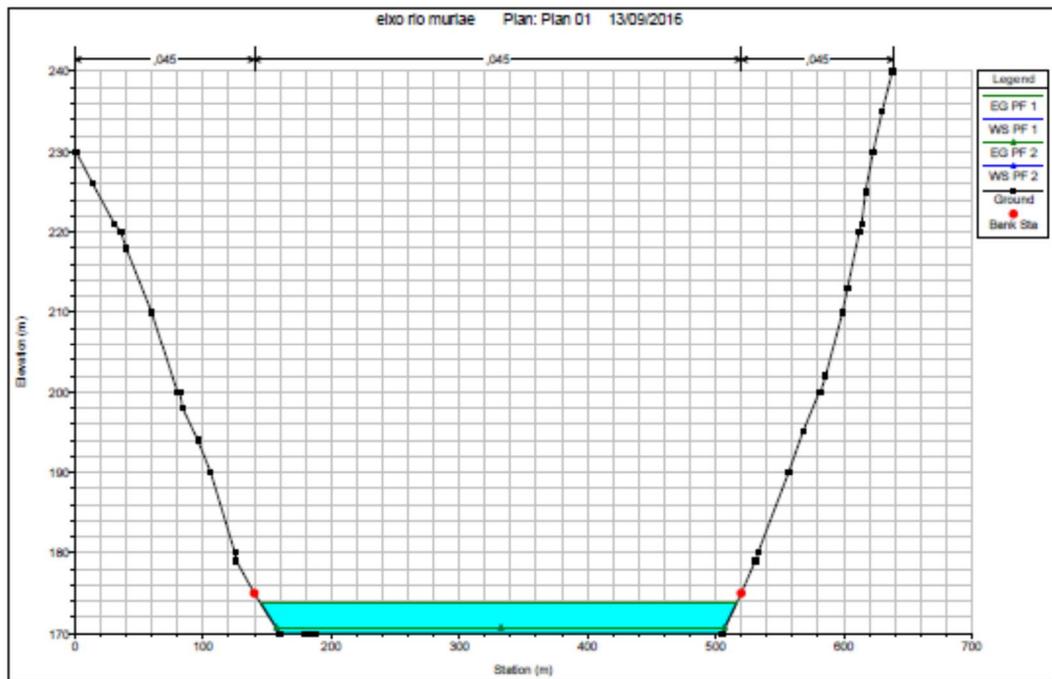


Figura 26 - Seção transversal 9

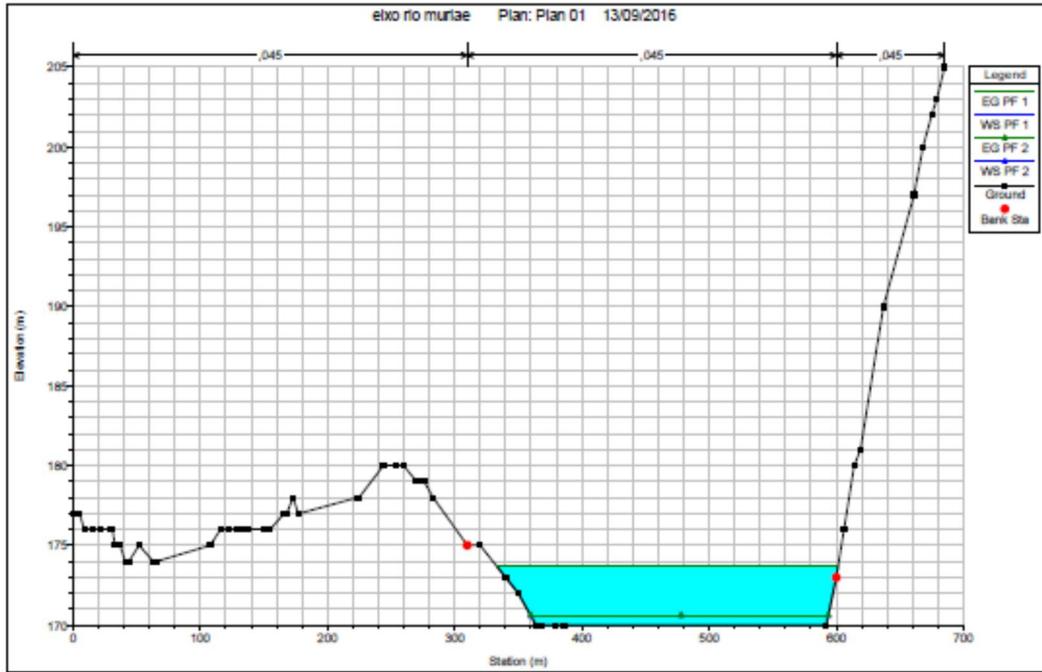


Figura 27 - Seção transversal 10

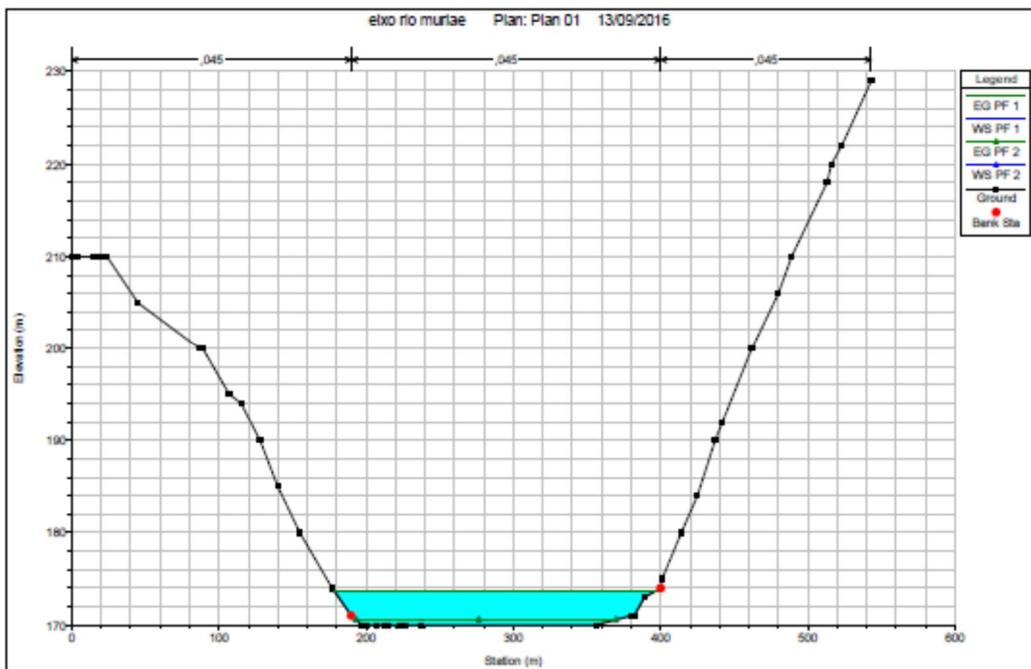


Figura 28 - Seção transversal 11

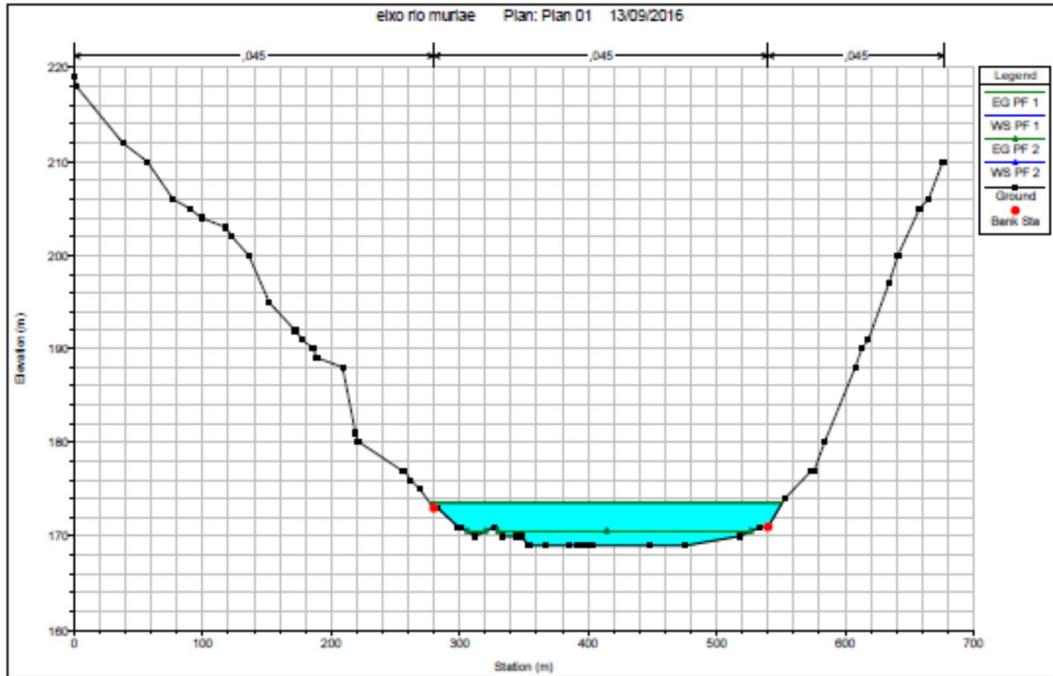


Figura 29 - Seção transversal 12

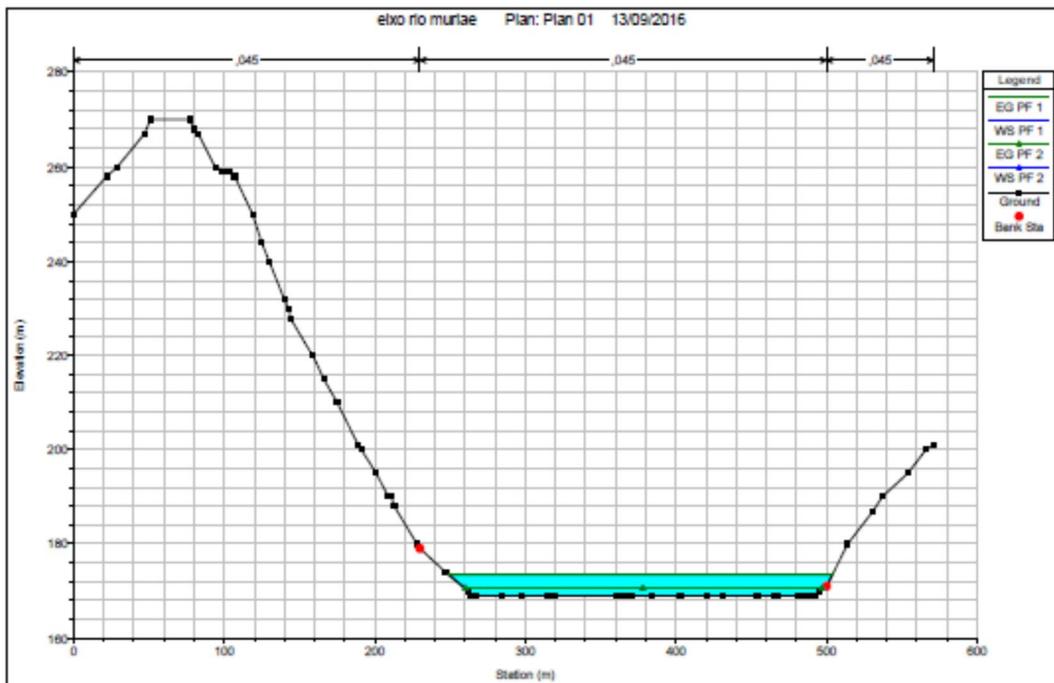


Figura 30 - Seção transversal 13

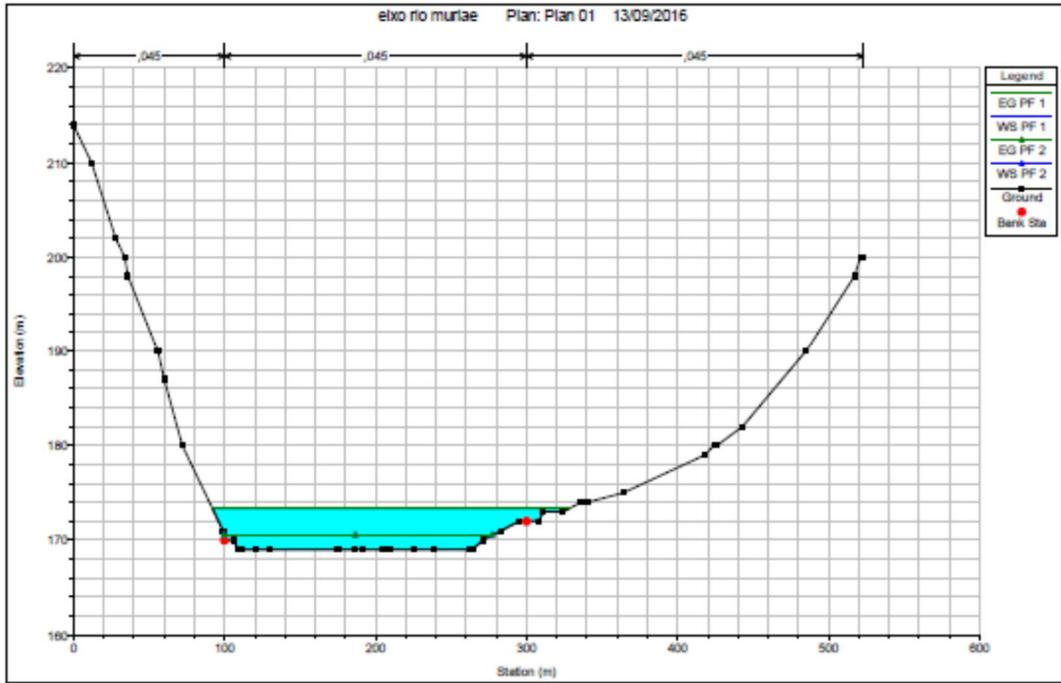


Figura 31 - Seção transversal 14

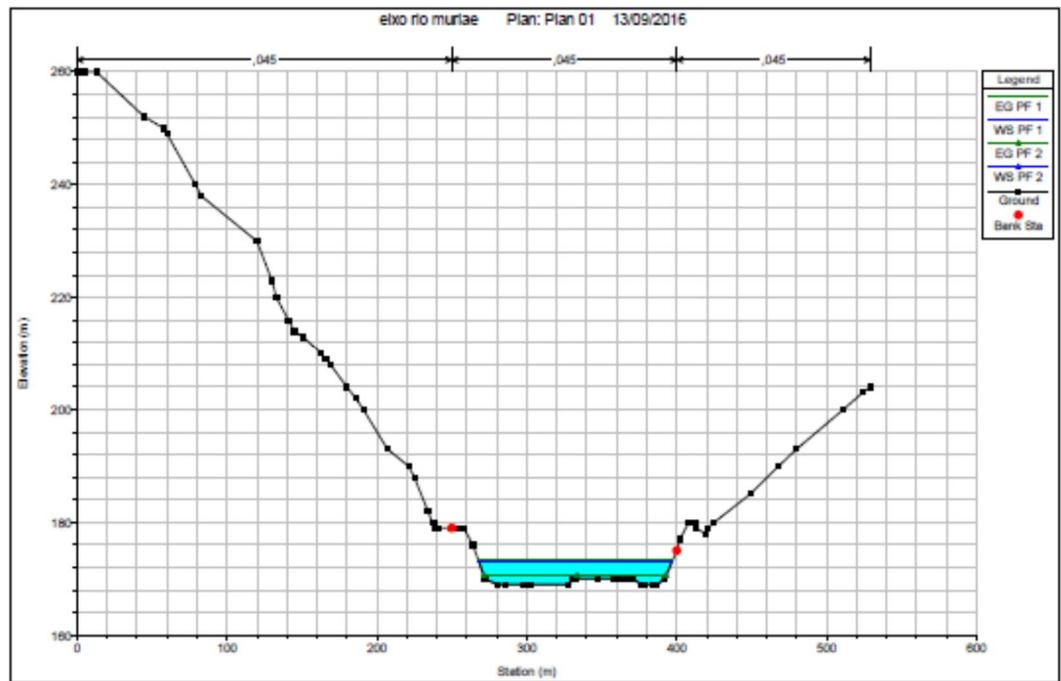


Figura 32 - Seção transversal 15

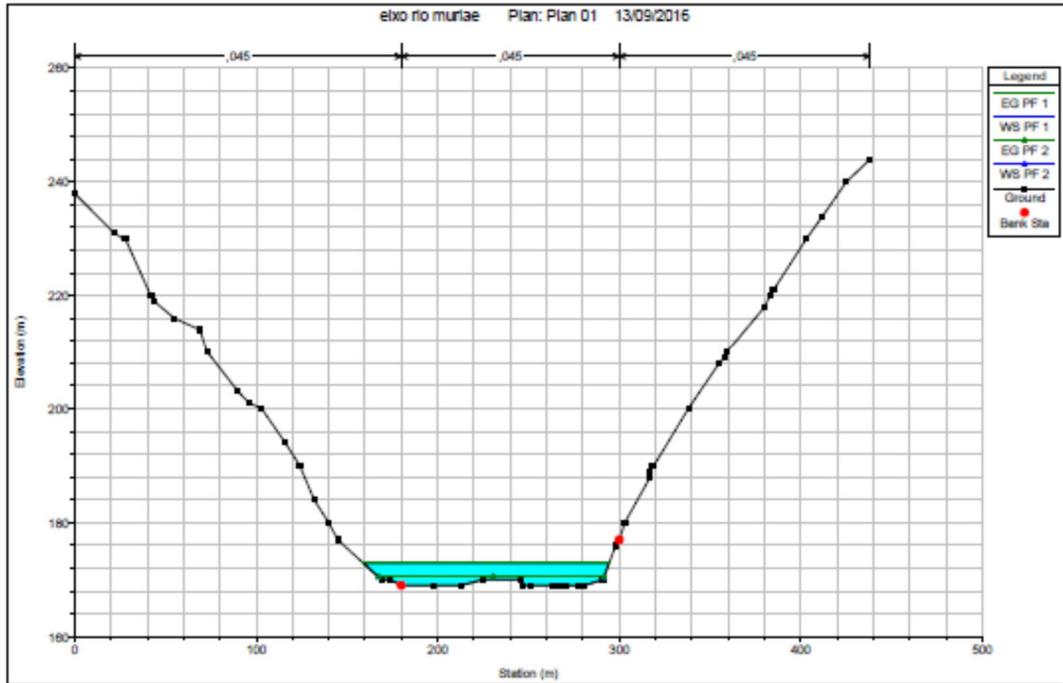


Figura 33 - Seção transversal 16

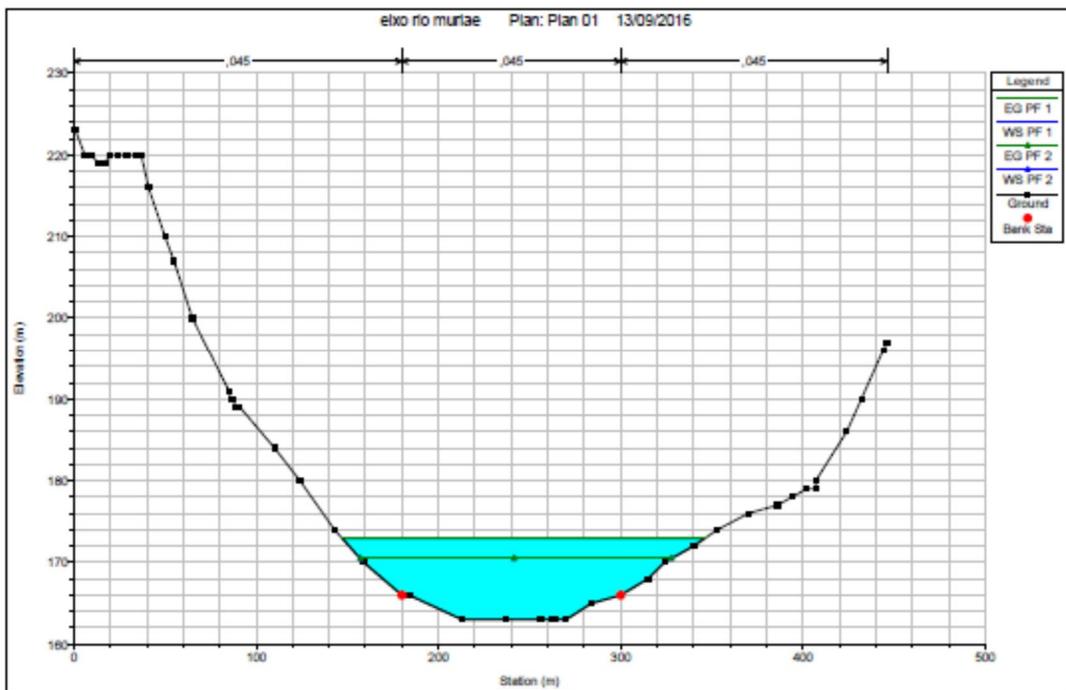


Figura 34 - Seção transversal 17

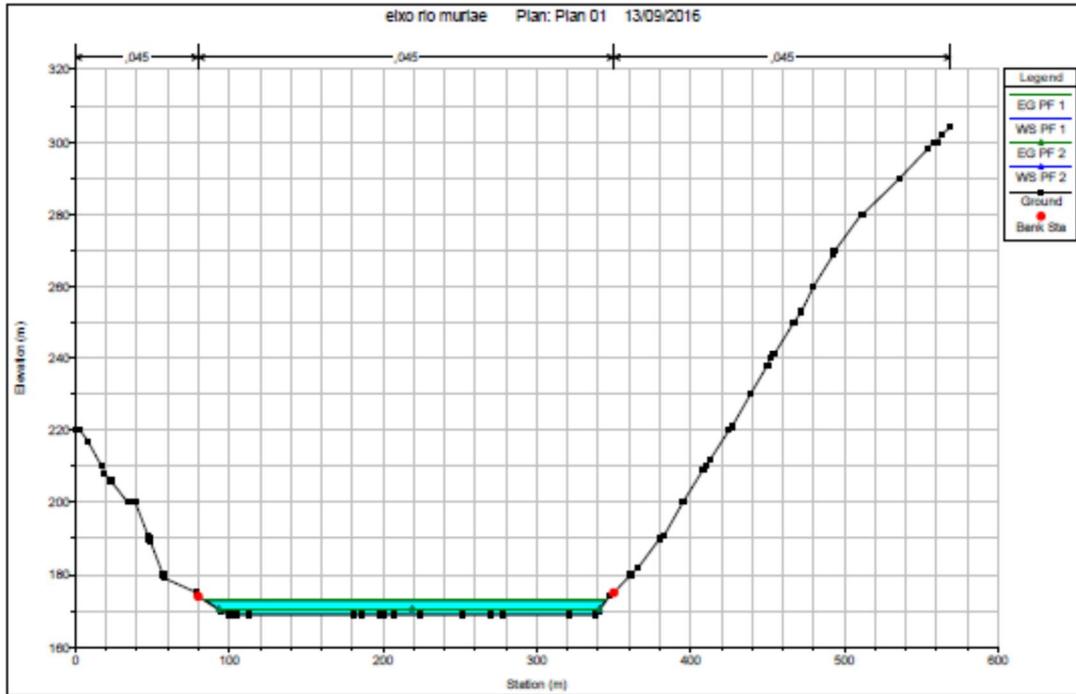


Figura 35 - Seção transversal 18

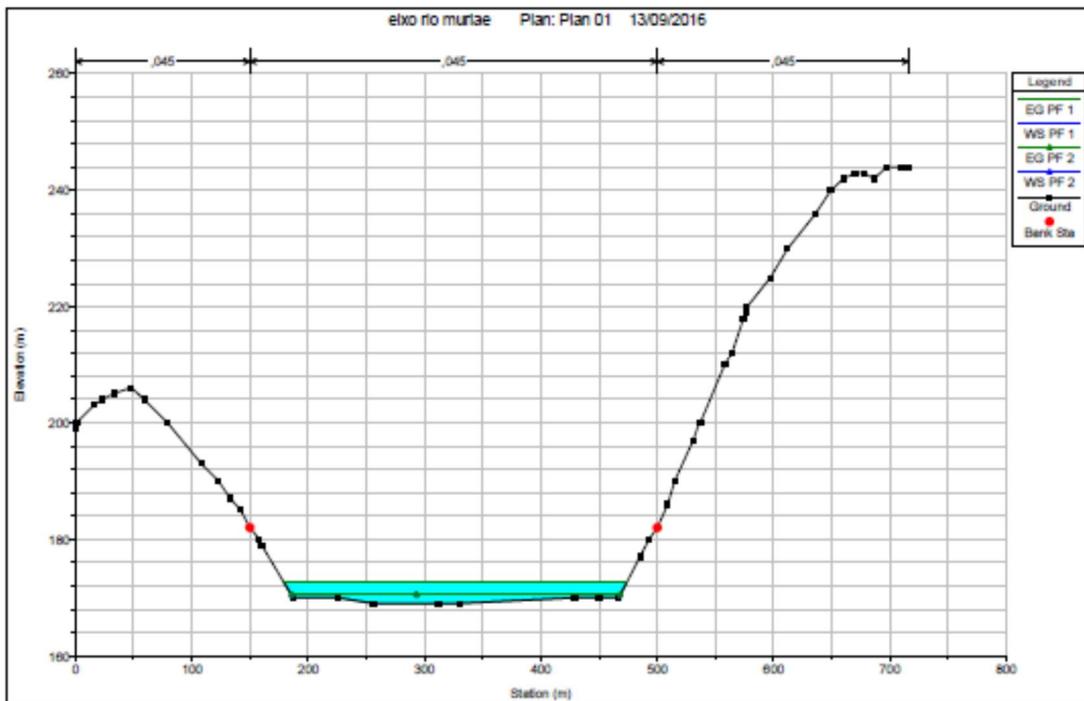


Figura 36 - Seção transversal 19

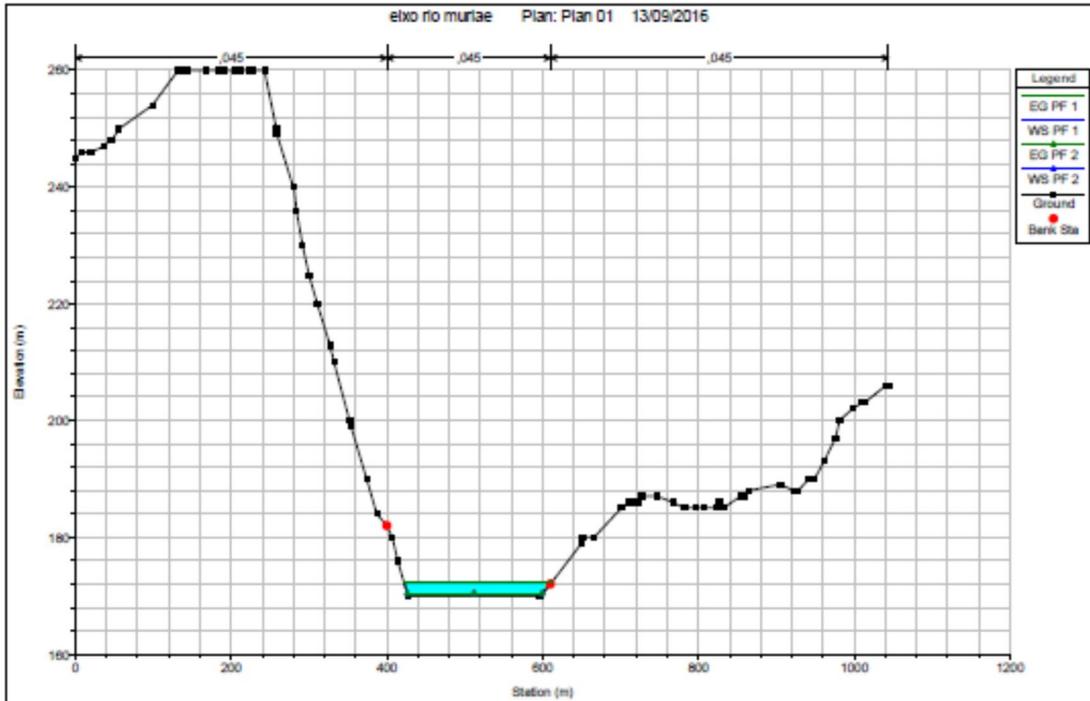


Figura 37 - Seção transversal 20

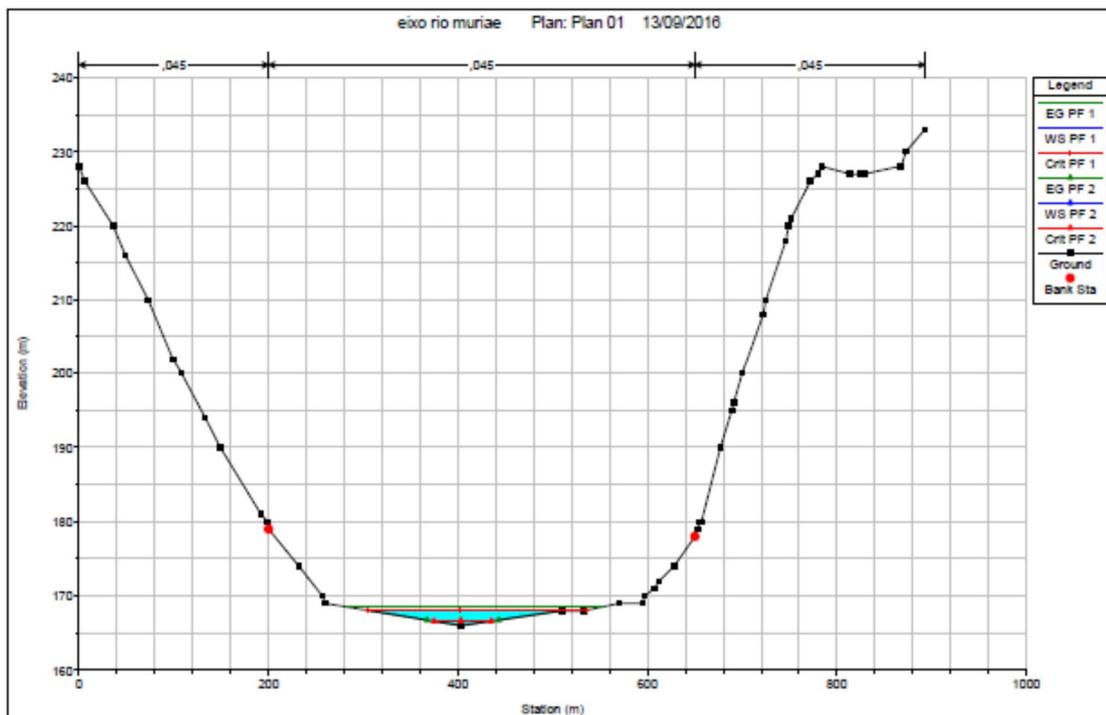


Figura 38 - Seção Transversal 21

O resultado da modelagem hidráulica nas seções transversais indicou a eficiência do levantamento de campo e tratamento de dados. A conectividade entre as seções integrada à geometria do rio e a interpolação de seções atenderam as expectativas, permitindo a próxima

etapa da metodologia, a elaboração do mapa de cheia. O trecho entre as seções transversais de número 7 a 12 apresentam interferência com a superfície d'água dimensionada e áreas habitáveis conforme indicado no próximo.

As Tabelas 4 e 5 consolidam os resultados alcançados com as simulações hidrodinâmicas. Pode-se observar que a condição de contorno adotado como regime sub-crítico através da seção de jusante é satisfatória conforme os valores do número de Froude.

Tabela 4 - Resultados de saída das seções do Rio Muriaé, $Q_{TR=25 \text{ anos}}$

Seção	$Q_{TR=25 \text{ anos}}$	Cota Fundo	. N.A.	Elev L.E.	Decliv. L.E.	Velocidade	Área Molhada	Largura Topo	Froude #
1	(m^3/s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m^2)	(m)	0,05
	663,8	169	174,18	174,19	0,000032	0,36	1854,52	389,58	
2	663,8	160	174,16	174,17	0,000021	0,42	1579,32	183,81	0,05
3	663,8	169	174,13	174,16	0,000133	0,71	948,41	209,49	0,11
4	663,8	169	174,09	174,11	0,000115	0,61	1106,07	282,8	0,1
5	663,8	170	173,98	174,01	0,000148	0,67	999,11	266,49	0,11
6	663,8	170	173,93	173,95	0,000108	0,55	1201,38	329,73	0,09
7	663,8	170	173,86	173,89	0,000235	0,82	827,12	242,26	0,14
8	663,8	170	173,8	173,81	0,000134	0,61	1116,82	329,74	0,1
9	663,8	170	173,78	173,79	0,000087	0,49	1353,29	371,44	0,08
10	663,8	170	173,71	173,73	0,000207	0,73	915,9	268,49	0,13
11	663,8	170	173,65	173,69	0,000356	0,94	711,36	217,56	0,16
12	663,8	169	173,55	173,57	0,000149	0,66	1009,25	274,03	0,11
13	663,8	169	173,5	173,52	0,000108	0,61	1089,07	255,03	0,09
14	663,8	169	173,39	173,43	0,00021	0,81	836,31	236,92	0,13
15	663,8	169	173,15	173,25	0,000786	1,44	461,58	129,23	0,24
16	663,8	169	172,89	173	0,000871	1,51	452,59	135,26	0,26
17	663,8	163	172,93	172,94	0,000032	0,54	1360,2	198,73	0,06
18	663,8	169	172,9	172,92	0,000164	0,68	973,97	260,93	0,11
19	663,8	169	172,69	172,72	0,000239	0,73	911,89	294,98	0,13
20	663,8	170	172,27	172,41	0,00191	1,63	408,54	189,48	0,33
21	663,8	166	168,07	168,54	0,020335	3,05	217,88	231,1	0,35

Tabela 5 - Resultados de saída da seção do Rio Muriaé, $Q_{95\%}$.

Seção	$Q_{95\%}$	Cota Fundo	N.A.	Elev L.E.	Decliv. L.E.	Velocidade	Área Molhada	Largura Topo	Froude #
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
1	31,4	169	170,84	170,84	0,000002	0,05	620,39	348,39	0,01
2	31,4	160	170,84	170,84	0,000001	0,03	1013,23	156,82	0
3	31,4	169	170,84	170,84	0,000001	0,1	311,64	177,22	0,02
4	31,4	169	170,83	170,83	0,000034	0,13	243,13	246,14	0,04
5	31,4	170	170,79	170,79	0,000081	0,17	186,8	241,49	0,06
6	31,4	170	170,76	170,76	0,000061	0,14	218,32	290,64	0,05
7	31,4	170	170,73	170,73	0,000152	0,22	143,86	202,05	0,08
8	31,4	170	170,68	170,68	0,000097	0,17	187,28	278,91	0,07
9	31,4	170	170,66	170,66	0,000066	0,14	229,87	349,63	0,05
10	31,4	170	170,62	170,62	0,000192	0,22	142,15	233,95	0,09
11	31,4	170	170,57	170,57	0,000508	0,33	94,86	176,53	0,14
12	31,4	169	170,53	170,53	0,000025	0,13	251,04	210,61	0,04
13	31,4	169	170,53	170,53	0,000009	0,09	354,77	237,1	0,02
14	31,4	169	170,52	170,52	0,000002	0,13	250,65	177,76	0,03
15	31,4	169	170,5	170,5	0,000109	0,24	129,77	121,46	0,07
16	31,4	169	170,47	170,47	0,000087	0,23	139,28	124,16	0,07
17	31,4	163	170,47	170,47	0,000001	0,04	905,55	170,65	0
18	31,4	169	170,47	170,47	0,000001	0,09	357,36	247,59	0,02
19	31,4	169	170,45	170,45	0,000003	0,12	266,61	282,53	0,04
20	31,4	170	170,39	170,4	0,001603	0,47	66,73	173,37	0,23
21	31,4	166	166,6	166,75	0,030634	1,74	18,06	60,46	0,27

O mapa de áreas de risco referentes às regiões susceptíveis a inundações, construído para vazões $Q_{95\%}$ e $Q_{TR=25 \text{ anos}}$ é apresentado na Figura 39 com manchas em cor ciano e azul, respectivamente. O mapa de cheia georeferenciado foi elaborado após exportação do arquivo HEC-RAS para o AutoCAD Civil 3D, preservando as linhas de remanso e áreas afetadas pelo evento calculado.

Condição 1) Apesar de não haver extravasamento da calha do rio, o nível d'água referente a vazão mínima ($Q_{95\%}$) projetada afeta diversas habitações próximas a margem do rio.

Condição 2) A vazão máxima ($Q_{TR=25 \text{ anos}}$) projetada durante a modelagem hidrodinâmica abrange maior área superficial inundada, acarretando num número maior de habitações atingidas no evento dimensionado.

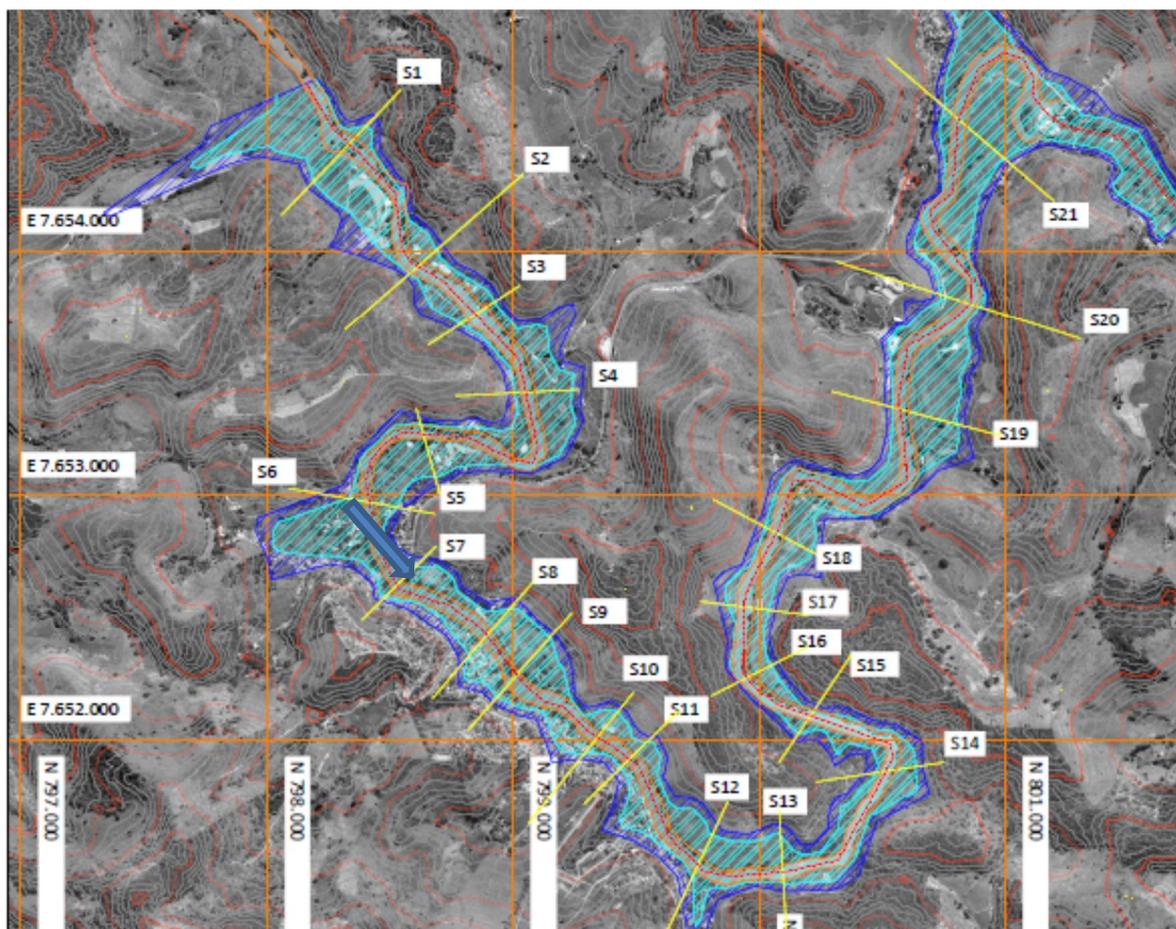


Figura 39 - Mapa de risco de cheia para $Q_{95\%}$ e $Q_{TR=25}$ anos

Conforme o fluxograma apresentado, verifica-se que o mapa elaborado atendeu as expectativas desejáveis nos aspectos de dimensionamentos hidráulicos, integração entre a geometria do rio, MDT e fotografia aérea. As posições das seções transversais mostraram-se suficientes, porém identificamos baixa qualidade dos levantamentos batimétricos. Mas o modelo identificou as áreas susceptíveis à inundação com interferência em regiões habitáveis. A baixa declividade longitudinal do rio associado aos coeficientes de atrito da calha de escoamento são um dos fatores responsáveis pela área inundada calculada.

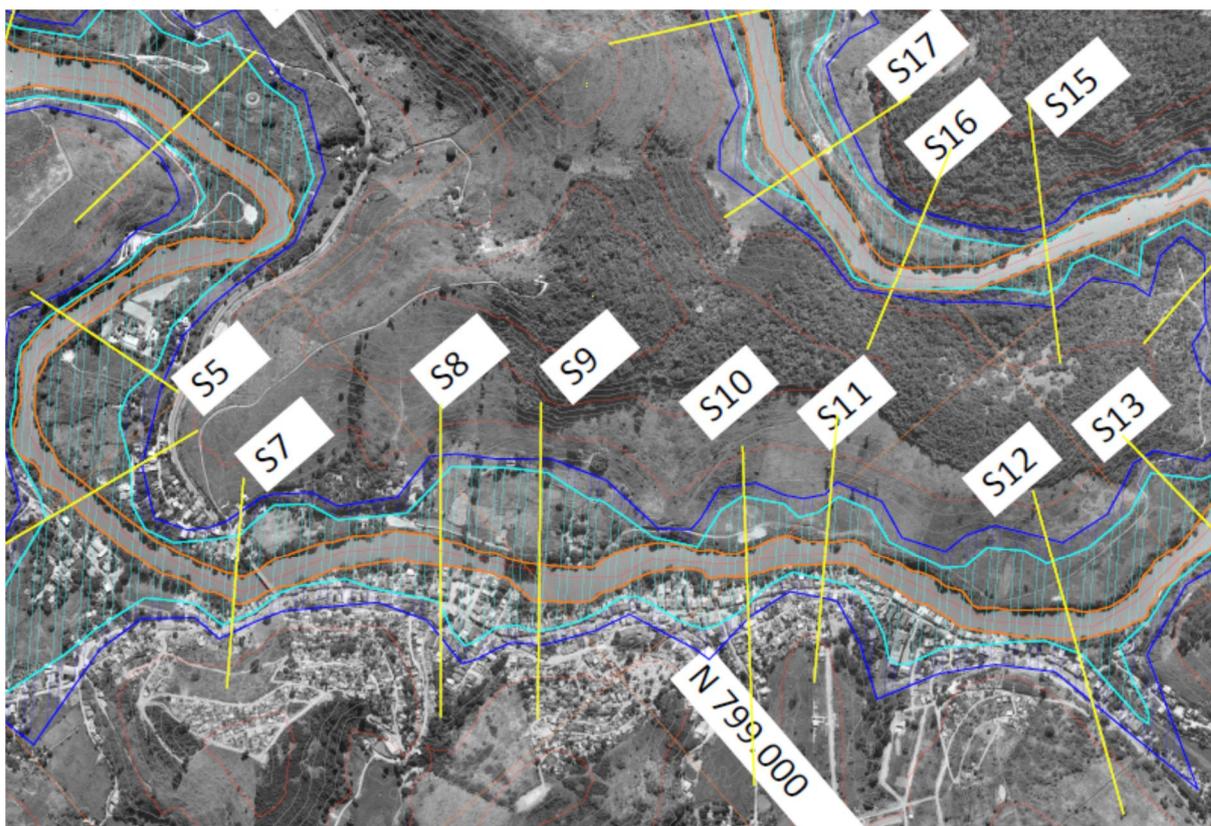


Figura 40 - Área habitada com maior grau de risco

A área destacada na Figura 40 apresenta a região habitada com maior grau de risco de inundação. As edificações próximas à margem do rio ficam expostas com aumento do nível d'água na calha, por menor que seja.

Pode-se observar, a partir do mapa de mancha de inundação que o trecho urbano de Laje de Muriaé necessita urgentemente de medidas de controle de vazões, tendo em vista a proximidade de construções habitadas às margens do rio.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Eventos hidrológicos extremos em regiões urbanas são responsáveis pelos principais cenários desencadeadores de desastres de inundações.

O desenvolvimento de estudos e políticas em prevenção de desastres desta natureza podem ser detalhados em algumas etapas: identificação das áreas de riscos através de ferramentas de SIG e desenho assistido por computador; dimensionamento hidrológico; modelagem hidráulica e elaboração de mapa de risco de inundação. Este último permite a delimitação das áreas de risco.

A pesquisa apresentou dificuldades em relação aos dados topográficos, observou-se insuficiência de pontos coletados próximos às margens do rio. Esta falha pode estar relacionada à dificuldade de trabalho da equipe de campo em áreas com terrenos irregulares e coberturas vegetais. A ausência de base cartográfica cadastral do município dificulta tomada de decisão no planejamento urbano, uma vez que esses dados deveriam estar atualizados para fornecer informações de interesse aos técnicos de diversas áreas num nível de detalhamento preciso. Uma base de dados especializada sobre elementos em questão reflete a situação organizacional do espaço urbano.

O município de Laje de Muriaé necessita a implementação de ações por parte do poder público, pois eventos recorrentes alteram as condições básicas de vida da população. Sugere-se a implantação de um sistema de alerta de cheias da bacia com transmissão de dados visando prevenção de eventos extremos e plano de evacuação, principalmente, das áreas inundadas definidas no mapa de cheias. Recomenda-se a reestruturação do zoneamento urbano do município, a partir da desapropriação das edificações em áreas de risco. Outras medidas estruturais podem ser auxiliares para melhoria das condições hidráulicas do escoamento, tais como dragagem mecânica do leito do rio e regularização da seção; revestimento da calha do rio a fim de diminuir o coeficiente de rugosidade; reassentamento de casas com maior grau de risco; diques de proteção de margem e construção de reservatórios de detenção.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a elaboração de mapas de inundação mais detalhados incluindo as alternativas de medidas estruturais mencionadas no parágrafo anterior.

CAPÍTULO VI

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Lei nº 9433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm>. Acesso em 11 mar. 2016.

BRUNNER, Gary W. **HEC-RAS River Analysis System: User's Manual**. US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center, 2001.

CEIVAP. **Caderno de Ações - Bacia do Rio Muriaé ó Relatório Contratual R-10**. Relatório. Rio de Janeiro. Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, Fundação COPPETEC. 2006.

CASTILHO, Alice S.; PINTO, Éber J. A.; OLIVEIRA, Graziela S. R. **Utilização de modelo hidráulico associado a um SIG para a definição de áreas inundáveis na cidade de Governador Valadares, Minas Gerais**. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa, p. 1-20, 2005.

CHAGAS, Rogério M. **Modelagem hidrodinâmica no Baixo São Francisco e análise da quantidade e da qualidade da água para irrigação**. 2009. 136 f. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas), Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. 2009.

GRIBBIN, E. John. **Introdução à Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais**. Ed. CENGAGE Learnig. 2009.

IBGE. **Anuário estatístico do Brasil ó 1997**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1998. (CD-ROM). / IBGE. Base cartográfica de Eugenópolis-RJ, escala 1:50.000 ó Folha- SF 23 ó X- D- III -2 , 1978. / IBGE. Ortofotomosaico de Laje de Muriaé, escala 1:25.000, folha 2648-2-SE , 2008.

QUEIROZ, Edna; BODSTEIN, Airton. Território e bacias hidrográficas: reflexões a propósito da gestão de recursos hídricos e seus possíveis desdobramentos sobre as práticas de defesa civil frente aos desastres de origem hídrica. **InterSciencePlace**, v. 1, n. 16, 2010.

MMA. **Cidades sustentáveis: subsídios à elaboração da Agenda 21 Brasileira**. Brasília: Ministério de Meio Ambiente. 2000. 155p.

SEA/COHIDRO. **Mitigação das cheias do rio Muriaé - Estudos de concepções**. Relatório. Rio de Janeiro: Secretaria de Estado do Ambiente do Rio de Janeiro, COHIDRO Consultoria, Estudos e Projetos. 2010.

CHOW, Ven Te. **Open channel hydraulics**. Ed. Blackburn Press. 1959.

TUCCI, Carlos E. M.; **Águas urbanas. Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 97-112, 2008.

UFF/FEC. **Planejamento Estratégico da Região Hidrográfica dos Rios Guapi-Macacu e Caceribu-Macacu**. Universidade Federal Fluminense, Fundação Euclides da Cunha. Niterói, RJ. 2010. Disponível em: <<http://www.uff.br/projetomacacu/>>. Acesso em 11 mar. 2016.

UNISDR. **Recommended Practice: Flood Hazard Mapping**. United Nations, Space-Based Information for Disaster Management and Emergency Response. Disponível em <<http://www.un-spider.org/advisory-support/recommended-practices/recommended-practice-flood-hazard-mapping>>. Acesso em 10 de jul. 2016.