U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

METODOLOGIA PARA O MAPEAMENTO DE CHEIAS EM ZONAS DE RISCO. APLICAÇÃO A UM TROÇO DE UM RIO DO NORTE DE PORTUGAL

LILIANA FILIPA NUNES MARTINS DE SOUSA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Rodrigo Jorge Fonseca de Oliveira Maia

JULHO DE 2012

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2009/2010

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

http://www.fe.up.pt

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2011/2012 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2012*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus Pais, Irmãos e Amigos,

Quanto mais precisas para viver, mais tens de trabalhar
e menos tempo tens para ti. O maior dos luxos
é o tempo. O tempo é o meu maior património.
Miguel Esteves Cardoso

AGRADECIMENTOS

Ao excelentíssimo Professor Rodrigo Maia, meu orientador, um agradecimento profundo pela forma séria, didáctica e culta com que comunica com todos nós. Que continue a expandir horizontes a jovens engenheiros.

À engenheira Juliana Mendes, um especial agradecimento pela ajuda prestada ao longo de todo o projecto.

À ARH do Norte e ao engenheiro Pimenta Machado pelo empenho e elaboração na definição do caso de estudo.

À Câmara Municipal de Braga pelo apoio prestado, em especial para a equipa de topografia, ao Jorge, ao Paulo e ao Tó. Ao engenheiro Miguel, ao engenheiro Peixoto e ao arquiteto Octávio.

Aos meus pais, pelo carinho com que me educaram, pela inspiração que representam na minha vida, por tudo o que me proporcionaram e continuam a proporcionar. Que eu seja digna do vosso orgulho e que um dia eu vos possa proporcionar tanto quanto a mim proporcionaram.

Aos meus irmãos, porque também eles inspiram a minha vida. Que as vossas ambições sejam cumpridas.

Ao José Miguel, à Ana Isabel e ao José Pedro, os meus lindos sobrinhos que sempre me colocam um sorriso nos lábios. Que tenham um futuro cheio de alegrias.

À Xana, à Martinha, à Joana e à Cidália pela sabedoria e energia que me transmitem. Que tenham um futuro brilhante pela frente.

À Guiomar, à Andreia, à Soraia, à Mónica, à Jotinha, e à Patrícia pela amizade e companheirismo que sempre me proporcionam, pelo carinho que me dão, pela forma com que sempre me apoiaram, pelas experiências que já vivemos juntas. Sem vocês eu não seria tão feliz. Que a nossa amizade continue ate ao fim da nossa vida.

Ao António, ao Tiago, ao Pedro, ao Ricardo e ao Luís, pelo companheirismo ao longo de todo o trabalho.

RESUMO

A determinação de uma metodologia para a elaboração de mapas de risco de inundação foi o objetivo principal deste trabalho. A motivação para este estudo surgiu devido à Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007, relativa à Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundações, que atribui às Administrações dos Recursos Hídricos a obrigação de identificar e mapear zonas de risco até 2013.

Os mapas de risco de inundação são ferramentas poderosas no controle de inundações pois através deles é possível definir as áreas de risco. Assim como uma possível utilização destes para elaborar os planos de gestão dos riscos de inundações.

A metodologia aqui estabelecida define-se pelas seguintes etapas: caraterização topográfica da bacia hidrográfica; estudos hidrológicos; modelação hidráulica através do *software* HEC-RAS 4.1.0; elaboração dos mapas de inundação com auxílio de uma ferramenta de geoprocessamento (SIG); elaboração dos mapas de vulnerabilidade; aplicação da matriz de risco e finalmente a elaboração dos mapas de risco de inundação.

Através do programa HEC-RAS do *Hydraulic Engineering Corps* dos Estados Unidos da América, introduzindo-se dados base resultantes dos estudos hidrológicos e das características topográficas, é possível estimar os níveis de inundação. Inserindo-os no *software* Arc View consegue-se a elaboração dos mapas de inundação. Os mapas de inundação indicando os cenários de probabilidade de ocorrência da inundação, quando sobrepostos com os mapas de elementos em risco, resultam em mapas de vulnerabilidade, que não são mais do que mapas de localização de risco. Com a aplicação de uma matriz de risco pode avaliar-se de forma qualitativa a classificação do risco, e representar essa classificação nos mapas de risco de inundação.

Para o estudo de caso, selecionou-se um troço do rio Este, localizado na Região de Braga, devido ao seu histórico de problemas. Neste, foram simulados alguns cenários de inundação para períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos, definidos na legislação, e elaboradas as correspondentes cartas de zonas inundáveis e cartas de risco de inundação.

PALAVRAS-CHAVE: RISCO, MAPAS DE INUNDAÇÃO, HEC-RAS, SIG

ABSTRACT

The motivation for this study arose from the Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood Risks, which delegates to the Administrations of Water Resources the task of identifying and mapping risk areas by 2013.

Flood risk maps are powerful tools in flooding control because through them risk areas can be defined. There may also enable the development management plans for flood risk. The determination of a methodology for mapping flood risk was the main objective of this work.

The methodology established here is defined by the following steps: topographic characterization of the river basin, hydrological studies, hydraulic modeling using HEC-RAS *software* 4.1.0, development of flood maps with the support of a tool GIS (GIS); development of vulnerability maps, implementation of risk matrix and, finally, preparation of flood risk maps.

Using HEC-RAS developed by the United States of America, *Hydraulic Engineering Corps* computer-based programme and introducing base data resulting from hydrological studies and topographical characteristics, it is possible to estimate water flood levels. By inserting this data in a GIS *software* (in this case *Arc View*) it is possible to obtain correspondent flood maps. When flood maps (that indicate the probability for flood occurrence) are matched with risk element maps, another mapping output is obtained: vulnerability maps, which are nothing more than risk location maps. By applying a risk matrix to this data, a qualitative classification of risk is found, which can, thus, be represented on flood risk maps.

For the case study, and due to its long history of flooding events, a stretch of River Este on Braga metropolitan area was selected. Under this situation, a few scenarios were simulated considering flood return periods of 10, 100 and 500 years (defined according to the law), according to which corresponding flood hazard maps and flood risk maps were obtained.

KEYWORDS: RISK, FLOOD MAPS, HEC-RAS, GIS

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO 1
1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO 1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO 2

2. INUNDAÇÕES FLUVIAIS: CONCEITOS BASE. RISCO 3
2.1. DISTINÇÃO CONCEPTUAL DE CHEIA E INUNDAÇÃO 3
2.2. TIPOS DE INUNDAÇÕES 4
2.3. INUNDAÇÕES FLUVIAIS 5
2.3.1. ORIGEM DAS INUNDAÇÕES FLUVIAIS 5
2.3.2. MORFOLOGIA FLUVIAL 7
2.3.3. MEDIDAS DE MITIGAÇÃO DAS INUNDAÇÕES 8
2.4. CONCEITO GERAL DE RISCO 8
2.4.1. CLASSIFICAÇÃO DO RISCO 10
2.4.2. ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RISCOS 13
2.5. IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO E DE RISCO DE INUNDAÇÃO 13

3. ANÁLISE EUROPEIA E PANORAMA NACIONAL 15
3.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO E INSTITUCIONAL 15
3.1.1. LEGISLAÇÃO EUROPEIA 15
3.1.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL 16
3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO 17
3.3. MAPAS DE INUNDAÇÃO E MAPAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO 18
3.3.1. INTRODUÇÃO 18
3.3.2. MAPAS DE INUNDAÇÃO 18
3.3.2.1. Mapas de amplitude da inundação 19

3.3.2.2. Mapas de profundidade de águas (cotadas topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) 20

3.4. MAPAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO 21

4. METODOLOGIA UTILIZADA 23

4.1. CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA 23

4.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS 24

4.2.1. ANÁLISE CRÍTICA DOS TEMPOS DE RETORNO 24

4.3. MODELAÇÃO HIDRÁULICA 25

4.3.1. *SOFTWARE* HIDRÁULICO 25

4.3.2. MÉTODO PARA OS CÁLCULOS DE ESCOAMENTO UNIDIMENSIONAL NO HEC-RAS 25

4.3.3. DADOS DE BASE NECESSÁRIOS 28

4.3.3.1. Dados Geométricos 28

4.3.3.2. Dados Hidráulicos 28

4.4. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE INUNDAÇÃO 29

4.5. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE VULNERABILIDADE 29

4.6. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO COM RECURSO A UMA MATRIZ DE RISCO 30

5. CARACTERIZAÇÃO DO CASO EM ESTUDO 33

5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO 33

5.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 33

5.3. CARATERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA DE CELEIRÓS 34

5.4. LEVANTAMENTO DE CAMPO E CARTOGRAFIA RELEVANTE 36

5.5. CRIAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL DO TERRENO 36

5.6 USO DO SOLO E OCUPAÇÃO DO TROÇO EM ESTUDO 36

5.7. CARATERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO 40

5.7.1. INTERVALO DE TEMPO EM ESTUDO 41

5.7.2. RELAÇÃO ENTRE OS CAUDAIS NA BACIA EM ESTUDO E NA BACIA MODELO 41

5.7.2.1. Precipitações ponderadas na bacia de estudo 42

5.7.2.2. Método de Thiessen 42

5.7.2.3. Método da Ponderação Regional 43

5.7.2.4. Método das Duplas Acumulações 44

5.7.3. BACIA MODELO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO DOURO 44

5.7.4. CAUDAL DE PONTA DE CHEIAS 48

5.8. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA 49

5.9. ELEMENTOS EM RISCO 50

5.10. ANTECEDENTES SOBRE INUNDAÇÕES NA ZONA EM ESTUDO 55

6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS 57

6.1. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS 57

6.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CARTAS DE ZONAS INUNDÁVEIS 60

6.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS CARTAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO 63

6.3.1. NÚMERO INDICATIVO DE HABITANTES POTENCIALMENTE AFECTADOS 63

6.3.2. EDIFÍCIOS SENSÍVEIS 65

6.3.3. TIPO DE ACTIVIDADE ECONÓMICA DA ZONA POTENCIALMENTE AFETADA 66

6.3.4. INSTALAÇÕES QUE POSSAM CAUSAR POLUIÇÃO ACIDENTAL EM CASO DE INUNDAÇÃO E ZONAS PROTEGIDAS POTENCIALMENTE AFECTADAS 68

6.3.5. ESTABELECIMENTOS ABRANGIDOS PELO DECRETO-LEI Nº 254/2007, DE 12 DE JULHO, QUE ESTABELECE O REGIME DE PREVENÇÃO DE ACIDENTES GRAVES QUE ENVOLVAM SUBSTÂNCIAS PERIGOSAS E DE LIMITAÇÃO DAS SUAS CONSEQUÊNCIAS PARA O HOMEM E O AMBIENTE 70

6.3.6. OUTRAS INFORMAÇÕES QUE A ARH OU A CNGRI CONSIDEREM ÚTEIS, COMO A INDICAÇÃO DAS ZONAS ONDE PODEM OCORRER INUNDAÇÕES QUE TRANSPORTEM UM ELEVADO VOLUME DE SEDIMENTOS E DETRITOS, E INFORMAÇÕES SOBRE OUTRAS FONTES IMPORTANTES DE POLUIÇÃO 70

7. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 73

7.1. Conclusões 73

7.2. Recomendações 74

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Esquema com os tipos de inundações (Jacinto, 2011) 4

Fig. 2 – Tipo de bacia hidrográfica e respetivo hidrograma para uma precipitação uniforme idêntica (Maia, 2012) 6

Fig. 3 – Acumulação de materiais na ponte da Ribeira de Pomares (Lourenço et al, 2006) 7

Fig. 4 - Caraterização da morfologia fluvial (adaptado do endereço elatrónico [1]) 8

Fig. 5 – Catástrofes climáticas na Europa (adaptado de Munich Re, 2011) 9

Fig. 6 – Representação do conceito geral técnico de risco de inundações (Almeida, 2007) 11

Fig. 7 – Zona de localização de risco (Julião et al., 2009) 12

Fig.8 – Exemplo de mapa de amplitude de inundação para diferentes períodos de retorno (B. Merz et el 2007) 19

Fig. 9 – Exemplo de mapa de profundidade de águas (cotadas topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) (Jacobs, 2006) 20

Fig. 10 – Mapa de risco de inundação indicando a distribuição das zonas de risco (Merz et al, 2007) 21

Fig. 11 – Interação dos mapas de inundação com os mapas de risco de inundação (Merz, 2007) 22

Fig. 12 – Exemplo de secções transversais num rio (adaptado do endereço electrónico [2]) 23

Fig. 13 - Representação dos termos da equação de energia (datum – limite de referência; Channel Bottom – talvegue do canal; water surface – superfície livre; Energy grade line – linha de energia) (USACE – User's Manual, 2010) 27

Fig. 14 – Representação dos coeficientes de rugosidade Manning (USACE – Reference Manual, 2010) 27

Fig. 15 – Matriz de risco utilizada pela ANPC (Julião et al,2009) 31

Fig. 16 - Matriz de risco adotada 32

Fig. 17 - Localização do troço em estudo usando o Google Earth 34

Fig. 18 - Delimitação da bacia de Celeirós, das linhas de cumeada e das linhas de talvegue, utilizando as cartas militares e a ferramenta AutoCAD 35

Fig. 19 – Fotografia do rio Este mostrando a falta de limpeza no canal e margens 37

Fig. 20 – Fotografia do rio Este mostrando vegetação caída no leito 38

Fig. 21– Fotografia do rio Este mostrando a má qualidade da água 38

Fig.22 – Fotografia elucidativa do depósito de terras, numa das margens do rio Este 39

Fig. 23 – Fotografia do rio Este de um troço com problemas de assoreamento 39

Fig. 24 - Representação da bacia de Celeirós e da bacia Ponte Junqueira 40

Fig. 25 - Método de Thiessen traçado esquemático das áreas de influência dos postos pluviométricos na bacia em estudo e na bacia modelo 42

Fig. 26 - Fotografia obtida "*in situ*" representativa de uma "estação elevatória de águas residuais do sistema cidade" 51

Fig. 27 – Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do primeiro tramo 52

Fig. 28 – Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do segundo tramo 53

Fig. 29 – Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do terceiro tramo 54

Fig. 30 – Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do quarto tramo..... 54

Fig. 31 – Representação de um perfil transversal de zona inundada, no troço em estudo, obtida através do HEC-RAS..... 58

Fig. 32 – Localização das zonas onde foi possível identificar marcas de cheia: A) Indústria, B) Habitação 61

Fig. 33 – Representação das duas pontes atingidas pela cheia de 29 de outubro de 2011 61

Fig. 34 – Representação de aterro conseguido através de levantamento topográfico 62

Fig. 35 – Representação de elevações topográficas no cruzamento dos resultados importados do Hec-Ras com os resultados do MDT 63

Fig. 36 - Habitação classificada como risco extremo 64

Fig. 37 – Representação da matriz de risco para classificar a habitação da Fig. 33..... 64

Fig. 38 - Habitação classificada como risco moderado e moinho classificado como baixo risco 65

Fig. 39 - Estação elevatória de águas residuais classificada como sendo de risco elevado 66

Fig. 40 - Localização de actividade industrial potencialmente afectada pela inundação 67

Fig. 41 – representação da infraestrura rodoviária considerada fundamental..... 68

Fig. 42 – Fotografia de uma unidade industrial, onde se pode verificar o depósito de materiais junto à instalação69

Fig. 43 – Instalação exposta à inundação com instalações de produção e transformação de metais..... 70

Fig. 44 - Classificação do risco de inundação para as zonas de aterro..... 71

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos danos de inundações (Jonkman, 2007) 12

Tabela 2 – Exemplos de tempos de retorno utilizados na Europa 25

Tabela 3 – Grau de probabilidade 30

Tabela 4 – Grau de vulnerabilidade 32

Tabela 5 – Caraterísticas geométricas da bacia de estudo 36

Tabela 6 – Áreas de influência das estações udométricas na bacia 43

Tabela 7 - Caudais obtidos pelo método de Gumbel 48

Tabela 8 – Caudais obtidos por aproximação exponencial 49

Tabela 9 – Tabela com os valores das condições de escoamento verificadas para o perfil 60 57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Média das precipitações ponderadas mensais entre os anos de 1978/90 da bacia de estudo e das bacias modelo 45

Gráfico 2 - Média dos caudais médios diários mensais para Ponte Junqueira calculados através de cada uma das bacias modelo entre os anos de 1978/90 45

Gráfico 3 – Análise de regressão e correlação com os caudais reais de Ponte de Junqueira e os caudais calculados através de Fragas da Torre 46

Gráfico 4 – Evolução da precipitação nas bacias no período de 1980/81 até 2005/06 47

Gráfico 5 - Evolução do caudal nas bacias no período de 1980/81 até 2005/06 47

Gráfico 6 - Representação dos resultados obtidos para a correlação linear dos caudais máximos anuais e para os caudais obtidos pelo método de Gumbel 49

ABREVIATURAS

ARH - Administrações das Regiões Hidrográficas

INAG – Instituto da Água

ISDR - International Strategy for Disaster Reduction

DQA - Diretiva Quadro de Água

CNGRI – Comissão Nacional da Gestão de Riscos de Inundação

ANPC – Autoridade Nacional de Proteção Civil

1
INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO DA DISSERTAÇÃO

As cheias tornam-se um problema para o Homem quando este deixa de respeitar certos limites físicos e, como tal, instala-se nas planícies de inundação e, através de ações como a remoção da vegetação, e impermeabilização do solo altera o escoamento natural das águas.

As inundações, assim como qualquer outro fenómeno extremo só são consideradas catástrofes ou fenómenos de risco, quando interferem com a vida das populações, dos seus bens ou das suas atividades económicas ou sociais.

De acordo, com a Legislação Europeia é necessário controlar estes fenómenos extremos através do planeamento na gestão do risco e do planeamento de emergência. Como tal, as Administrações dos Recursos Hídricos devem identificar e mapear zonas de risco de inundação até 2013.

A Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2007 relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações prevê a realização de cartas de zonas inundáveis e de cartas de risco de inundação, para três cenários com diferentes probabilidades de ocorrência.

Nesse contexto, a modelação matemática surge como importante ferramenta de apoio à decisão, devido à sua capacidade de fornecer respostas sistémicas para cenários diversos, num exercício de antecipação de efeitos resultantes de possíveis medidas inseridas no projeto.

O processo de mapeamento utilizando uma base cartográfica confiável e adequada, assim como as caraterísticas hidráulicas da superfície da bacia constituem um material indispensável. A utilização de mapas de risco de inundação pode representar um grande avanço nas ações não-estruturais do controlo de cheias.

O objetivo deste trabalho é definir uma metodologia geral para a construção de mapas de risco de inundações que possa ser utilizado como ferramenta de suporte à decisão de medidas não estruturais de controlo de inundações, tendo como estudo de caso, a bacia de um troço do rio Este, situado no concelho de Braga.

1.2. OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

De acordo com o Decreto-lei 115/2010 compete às Administrações das Regiões Hidrográficas (ARHs) a definição de unidades de gestão, assim como efetuar a avaliação preliminar de riscos de inundações e propor áreas de riscos potenciais significativos de inundações até 22 de dezembro de 2011.Também compete às ARHs a realização de cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e as cartas de risco de

inundações, que deverão estar acabadas até 22 de dezembro de 2013, assim como os planos de gestão de risco de inundações, a elaborar até 22 de dezembro de 2015.

Nesse contexto, pretende-se apresentar uma metodologia geral a propor e a desenvolver pela ARH do Norte para dar seguimento ao Decreto-lei nº 115/2010, isto é, para a elaboração de cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundação indicativas das potenciais consequências negativas associadas a diferentes cenários de inundação (ponto d, do artigo 3º do Decreto-lei 115/2010). Tal perspetivando a elaboração pelas ARHs de Planos de Gestão de Riscos das Inundações (ponto e) do mesmo artigo.

Esse objetivo será cumprido na elaboração de mapas de risco de inundação para um troço do rio Este, desenvolvendo uma metodologia que possa ser aplicada a outros troços fluviais.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2 será efetuada a introdução e clarificação de conceitos essenciais para a dissertação apoiados na pesquisa bibliográfica, tais como o conceito de inundação e o conceito de risco. Para além dos conceitos, é neste capítulo que se apresentam e caracterizam os diferentes tipos de inundação, com especial interesse e abordando especificamente as inundações fluviais.

No capítulo 3 é apresentada uma análise nacional e europeia ao nível da legislação e do tipo de mapas utilizado. Este capítulo serve, portanto, para descrever os tipos de mapas de zonas inundáveis e de mapas de riscos de inundação usualmente utilizados.

No capítulo 4, pretende-se descrever a metodologia geral para a obtenção e aplicação de mapas de risco de inundação, percorrendo e caracterizando cada um dos passos fundamentais para utilizar a metodologia.

A aplicação dessa metodologia geral ao caso de estudo está particularizada no capítulo 5, descrevendo as características fundamentais do caso em estudo e indicando todas as etapas realizadas para a concretização das cartas de risco de inundação.

Os resultados serão apresentados no capítulo 6, onde se realizará uma análise crítica dos resultados obtidos para os mapas de inundação e para os mapas de risco de inundação.

Finalmente no capítulo 7 são apresentadas as conclusões e respetivas recomendações futuras para facilitar a aplicação da metodologia estabelecida.

2

INUNDAÇÕES FLUVIAIS: CONCEITOS BASE. RISCO

2.1. DISTINÇÃO CONCEPTUAL DE CHEIA E INUNDAÇÃO

Antes de abordar o conceito de risco de inundação, é conveniente analisar a distinção conceptual entre os termos inundação e cheia. Assim, é possível dizer que todas as cheias provocam inundações, mas nem todas as inundações são devidas a cheias (Ramos, 2005).

Esta disparidade na definição de conceitos é, aliás, reforçada por vários autores. Almeida (2006) refere que uma cheia natural consiste no escoamento de água muito intenso em consequência da ocorrência de causas naturais, provocando extravasamento e inundações, cobertura temporária de uma área por água.

Rocha (1995) faz também a diferenciação destes dois conceitos no qual a cheia "*está associada à ocorrência de um valor muito elevado de caudal num curso de água, resultante da ocorrência de precipitação intensa.*" Salientando ainda que, quando a cheia provoca o transbordo do leito normal, invadindo os terrenos marginais, dá-se a inundação.

O conceito de cheia para Ojeda (1997) corresponde a um processo natural, sem periocidade e com grandes consequências ambientais, em resultado de um aumento significativo e repentino do caudal de um sistema fluvial. Whittow (1988, citado por Ojeda), define inundação quando há submersão de uma área da superfície terrestre, que normalmente não está coberta pela água, devido a um aumento rápido do nível de água em questão.

Para Ramos (2006) os conceitos de cheia e inundação correspondem a fenómenos hidrológicos extremos, de frequência variável, naturais ou induzidos pela ação humana, sendo que a cheia consiste no transbordo de um curso de água relativamente ao seu leito ordinário, originando a inundação dos terrenos ribeirinhos, enquanto a inundação consiste na submersão de uma área usualmente emersa.

Já do ponto de vista hidrológico, Portela (2000) afirma que aquando da ocorrência de uma cheia a bacia hidrológica é sujeita a uma alimentação de água de tal forma intensa e prolongada que o caudal que daí advém e que aflui à rede hidrográfica excede a capacidade normal de transporte ao longo desta rede, extravasando-a e alagando (inundação) os campos marginais. Enquanto, para Lencastre (1992) uma situação de cheia acontece sempre que a precipitação dá origem à ocorrência de escoamento superficial direto.

A Diretiva Europeia 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2007 relativa à Avaliação e Gestão de Riscos de Inundação, define a inundação como sendo *"a cobertura temporária por água de uma parcela do terreno fora do leito normal, resultante de cheias provocadas*

por fenómenos naturais como a precipitação, incrementando o caudal dos rios, torrentes de montanha e cursos de água efémeros, correspondendo estas a cheias fluviais, ou de sobre-elevação do nível das águas do mar, nas zonas costeiras".

Ao nível da proteção civil, as inundações são tidas como superfícies alagadas, devido à rotura de canalizações ou ao mau escoamento de águas pluviais. As cheias estão associadas ao transbordo de linhas de água, que inunda as margens circundantes, devido ao aumento do caudal provocado por excesso de precipitação, por rotura de uma barragem, na sequência de fenómenos de origem sísmica, meteorológicos ou tectónicos (Barreiros et al, 2009).

Analisando as diversas definições na bibliografia sobre os conceitos de inundação e de cheia, e de modo a facilitar a compreensão ao longo deste estudo será utilizado preferencialmente o termo inundação, referindo-se à cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água, enquanto o termo de cheia estará associado aos fenómenos extremos de precipitação intensa.

2.2. TIPOS DE INUNDAÇÕES

Em Portugal, segundo Costa (1986), ocorrem três grandes tipos de inundações: as devidas às cheias dos grandes rios, que se formam ao fim de vários dias ou semanas de chuvas prolongadas; as devidas às cheias dos pequenos cursos de água, que se podem formar em algumas horas de chuva intensa; e as inundações urbanas, que se podem formar em algumas dezenas de minutos, aquando de fortes chuvadas cujas consequências são agravadas pela impermeabilização dos terrenos.

A Diretiva Europeia "Avaliação e Gestão de Riscos de Inundação" indica no ponto 10 das considerações prévias a existência de vários tipos de inundações: "*são vários os tipos de inundações que ocorrem em toda a comunidade: cheias de origem fluvial, cheias repentinas, inundações urbanas, e inundações marítimas em zonas costeiras*".

De acordo com Jacinto 2011, na Fig. 1 é possível observar uma representação dos diferentes tipos de inundações de acordo com a sua variação no espaço e no tempo.

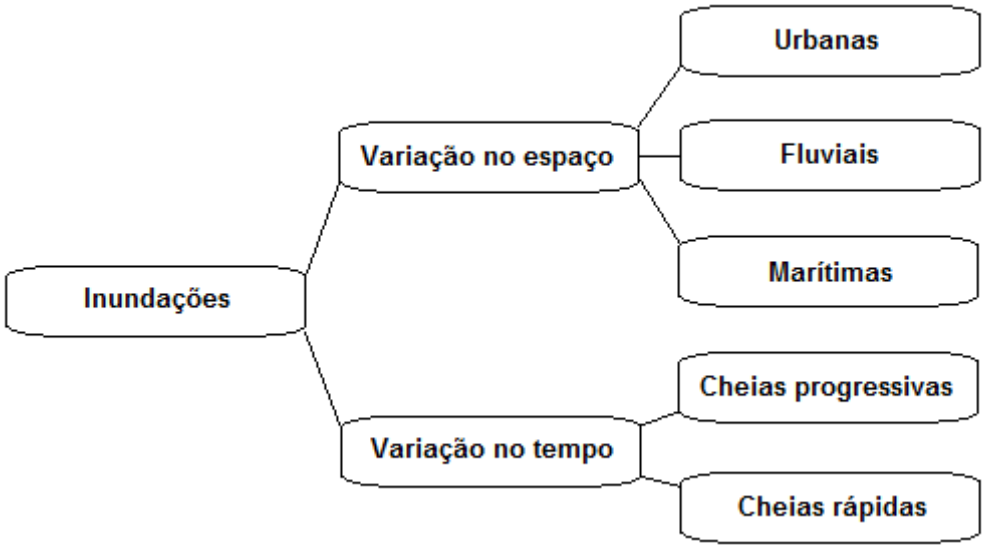


Fig. 1 – Esquema com os tipos de inundações (Jacinto, 2011)

De acordo com Lencastre (1992), "*as cheias, tal como habitualmente são conhecidas, podem ser subdivididas em pequenas cheias, perfeitamente localizadas, com inundação de áreas reduzidas e poucos danos causados; e em grandes cheias, de carácter generalizado, com inundação de grandes áreas e prejuízos elevados".*

2.3. INUNDAÇÕES FLUVIAIS

No presente trabalho serão aprofundadas as inundações do tipo fluvial. Estas podem variar no tempo, podendo ser consideradas cheias progressivas ou então rápidas. Esta distinção é importante para o tratamento do risco, uma vez que dela depende o tempo disponível de ação.

As cheias rápidas ou repentinas (da literatura inglesa, *flash floods*) são caracterizadas pelo curto intervalo de tempo que decorre entre o acontecimento pluvial e a cheia que o mesmo origina. Consideram-se sujeitas a cheias repentinas as bacias hidrográficas a que correspondem tempos de concentração até às 6h, segundo alguns autores, ou 12h, segundo outros (Portela, 2000).

Portanto, as cheias rápidas devem-se a precipitações muito intensas, normalmente de curta duração e circunscritas a áreas relativamente pequenas. Por isso, embora afetem quase sempre as pequenas bacias hidrográficas, têm grande potencial destruidor e podem ser mortíferas. Veja-se o caso das cheias de 1967 e 1983, ambas na região de Lisboa, e mais recentemente, em fevereiro de 2010, na ilha da Madeira.

No Plano Nacional da Água (INAG, 2000) é feita a distinção entre dois tipos de cheias. É explicado que, a irregularidade pluviométrica que se verifica em Portugal, dá origem a eventos de precipitação intensos e concentrados que podem provocar problemas de inundações e cheias repentinas, quando a capacidade de escoamento dos leitos dos cursos de água é insuficiente para drenar o volume de água afluente, provocando a inundação das áreas ribeirinhas. Por outro lado, as cheias progressivas relacionam-se principalmente com eventos pluviosos prolongados no tempo que afetam principalmente as grandes bacias. Estes são eventos que saturam os solos, gerando escoamentos superficiais superiores ao encaixe no leito normal dos rios e excedendo por vezes a capacidade de armazenamento das albufeiras das barragens.

No caso das cheias progressivas, a ocorrência cíclica destes eventos, desde que devidamente apreendida pelas populações, leva à necessidade de adaptações específicas que permitem a continuação de parte das atividades humanas e a salvaguarda de bens materiais e vidas humanas.

2.3.1 ORIGEM DAS INUNDAÇÕES FLUVIAIS

Para além dos fatores desencadeantes, essencialmente de natureza meteorológica e já descritos anteriormente, é importante salientar um conjunto de fatores condicionantes das cheias, os quais intervêm na frequência e magnitude deste fenómeno, assim como na dinâmica que lhe está associada.

Estes fatores, associados às componentes biofísicas das bacias hidrográficas, podem ser de diferente tipo:

- Geometria (forma e dimensão);
- Relevo, com destaque para o declive;
- Solo e substrato geológico, responsáveis pela permeabilidade;
- Vegetação e ocupação do solo.

Em conjunto, estes fatores interferem na relação entre a quantidade de água que fica armazenada ou retida temporariamente, quer à superfície quer em profundidade, e a quantidade de água que se escoa à superfície (escoamento direto).

É a água que escoa superficialmente, sem ter sido sujeita a processos de retenção ou de infiltração na bacia hidrográfica, que constitui a quase totalidade dos caudais de cheia nos setores a jusante na bacia. Por esse motivo, bacias hidrográficas em que as condições de escoamento direto são incrementadas (permeabilidade reduzida, declive elevado) são mais suscetíveis de virem a ser afetadas por cheias, pois assiste-se a uma maior concentração da água no setor jusante dos vales.

Em particular, bacias hidrográficas com formas mais arredondadas tendem a favorecer o escoamento superficial, originando cheias de maior ponta. Tal pode ser verificado na Fig. 2.

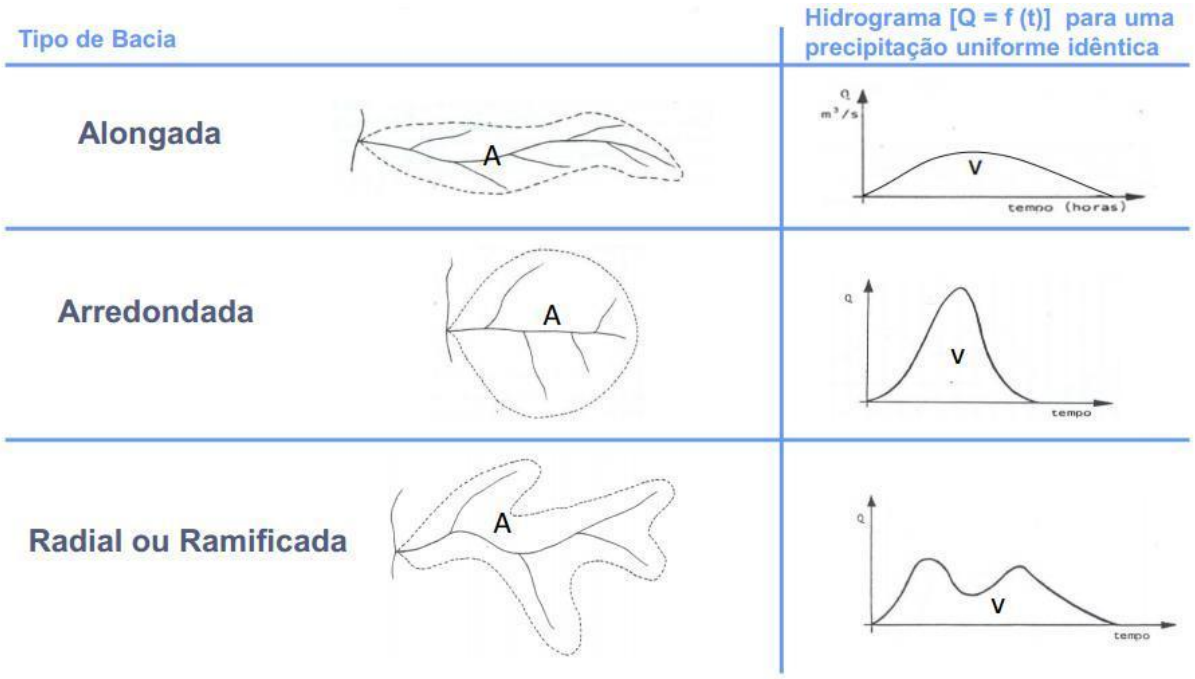


Fig. 2 – Tipo de bacia hidrográfica e respetivo hidrograma para uma precipitação uniforme idêntica (Maia, 2012)

Para além destes fatores naturais, existe um conjunto diversificado de fatores antrópicos que condicionam e agravam os episódios de cheias e inundações. A ação humana adquire aqui uma importância fundamental na ocorrência e na magnitude das cheias.

Essa influência exerce-se essencialmente na modificação das condições que influenciam os processos de interseção, retenção, infiltração e escoamento superficial, ou seja, todo o trajeto desde que a água da precipitação contacta com a vegetação até que atinge os fundos de vale. Neste contexto, são particularmente importantes as alterações que advêm da impermeabilização dos terrenos e da alteração do coberto vegetal.

No primeiro caso, impermeabilização dos terrenos, resulta da construção de estruturas pavimentadas como habitações e estradas em terrenos contíguos ao rio. Esta inibição do processo de infiltração leva a um aumento substancial da água que se escoa à superfície e aumenta a perigosidade dos locais mais a jusante, para onde essa água se desloca, potenciando os picos de cheia. É por este motivo que são tão frequentes as cheias em meio urbano, em que o maior volume de água decorrente do escoamento direto se conjuga com frequentes dificuldades de drenagem do sistema fluvial.

No outro caso, isto é, o desaparecimento do coberto vegetal de parte da bacia hidrográfica leva, geralmente, a uma alteração profunda das condições de escoamento, tanto ao nível da quantidade de água que circula à superfície, como ao nível da carga sólida. Um exemplo conhecido é a ocorrência de incêndios, os quais destroem o coberto vegetal e expõem os terrenos da bacia hidrográfica aos processos erosivos. A ausência temporária de vegetação leva à diminuição acentuada da infiltração e retenção (potenciando mais água disponível para escoar à superfície, na sequência da precipitação), à diminuição da resistência ao escoamento (aumento da velocidade de escoamento da água) e ao aumento da erosão dos solos, o que provoca um aumento da carga sedimentar e de detritos durante as cheias, contribuindo deste modo para o aumento do poder destruidor da cheia. A Fig. 3 é um exemplo representativo desse facto.



Fig. 3 – Acumulação de detritos na ponte da Ribeira de Pomares (Lourenço et al, 2006)

Para evitar ou atenuar situações de risco associadas à ocorrência de cheias, a bacia hidrográfica deve sempre ser estudada no seu conjunto, avaliando as suas condições ambientais, de forma a permitir compreender como a água precipitada se distribui ao longo dos diversos processos de escoamento.

2.3.2. MORFOLOGIA FLUVIAL

As características geomorfológicas dos vales e leitos fluviais, potenciam a suscetibilidade de ocorrência de cheias e inundações em determinadas áreas do território. Importa, assim, clarificar um conjunto de conceitos, nomeadamente os relativos aos leitos fluviais, na medida em que um dado caudal pode provocar diferentes alturas de escoamento e velocidade de escoamento das águas.

O vale fluvial de um rio é constituído pelo leito menor, que corresponde ao leito corrente do rio propriamente dito, por ser bem encaixado e delimitado, onde o escoamento das águas tem frequência suficiente para impedir o crescimento de vegetação. Nele encontra-se incluído o canal de estiagem que corresponde ao canal de escoamento da água na época mais seca do ano. O leito maior também faz parte do vale fluvial e pode ser também denominado como planície de inundação ou leito de cheia

(Fig. 4). A totalidade do vale fluvial vai sendo ocupada de forma parcial e periódica, ou na totalidade, aquando das cheias excecionais ou seculares (Azevedo, 2007).



Fig. 4 - Caraterização da morfologia fluvial (adaptado do endereço eletrónico [1])

Na parte montante de um rio é corrente o vale fluvial ser relativamente estreito e, frequentemente, de paredes abruptas, com a forma de um V fechado, indicando, portanto, a localização de regiões montanhosas. Aqui, o leito menor pode ocupar a maior parte da largura do vale. Na parte de jusante do rio, verificam-se declives suaves e planícies de inundação com muitos quilómetros de largura.

2.3.3 Medidas de mitigação das inundações

As medidas de defesa e mitigação de eventos extremos como inundações podem agrupar-se em duas vertentes: estruturais e não-estruturais.

As medidas estruturais relacionam-se com intervenções que possam reduzir um ou vários parâmetros das cheias, do ponto de vista hidráulico ou hidrológico, ao nível das áreas inundáveis, caudal, altura de cheia, entre outros. Alguns exemplos destas medidas são:

- Diques, barragens e bacias de retenção;
- Modificação no leito e regularização fluvial;
- Modificação na bacia de escoamento;
- Minimização das áreas impermeabilizadas;
- Proteção das construções.

As medidas não estruturais são aquelas que, não assumindo uma forma física concreta, são estabelecidas a um nível essencialmente regulamentar, normativo, legislativo. Poderão ser estabelecidas por entidades várias, constituindo (i) regulamentos que definam zonamentos e regulem a construção ou (ii) documentos que contribuam para uma ação incisiva no âmbito de eventuais ocorrências naturais, como planos de emergência, sistemas de alerta e previsão de cheias, ou seguros relativos a cheias.

2.4. Conceito Geral de Risco

O conceito de risco não é único, pois a sua compreensão diverge entre autores e entidades. De seguida estão descritas algumas das definições de risco obtidas após breve revisão de literatura da especialidade.

Segundo Westen et al (2006), uma das melhores definições utilizadas para o risco, considera o risco decorrente do número previsto de vidas perdidas, de pessoas feridas e desestabilização de atividades económicas, devido a um fenómeno particular que ocorre numa área em determinado período.

De acordo, com o relatório da *International Strategy for Disaster Reduction* (ISDR, 2004) o risco pode ser definido como a probabilidade de consequências prejudiciais, ou perdas previstas (morte, ferimentos, propriedade, meios de subsistência, interrupção de atividade económica ou destruição ambiental) resultando das interações entre perigos naturais ou sociais e circunstâncias vulneráveis.

Segundo o caderno técnico da Autoridade Nacional de Proteção Civil (Barreiros, 2009), o risco é definido como a probabilidade de ocorrência de um processo (ou ação) perigoso e respetiva estimativa das suas consequências sobre pessoas, bens e ambiente. Podendo ser dividido em três grupos: riscos naturais; riscos tecnológicos; riscos mistos.

Com a mudança climática global, eventos climáticos extremos como inundações devem ocorrer com maior frequência e maior intensidade. Os fenómenos de inundação, particularmente as inundações fluviais são considerados como um dos mais importantes acidentes naturais na Europa (Fig. 5).

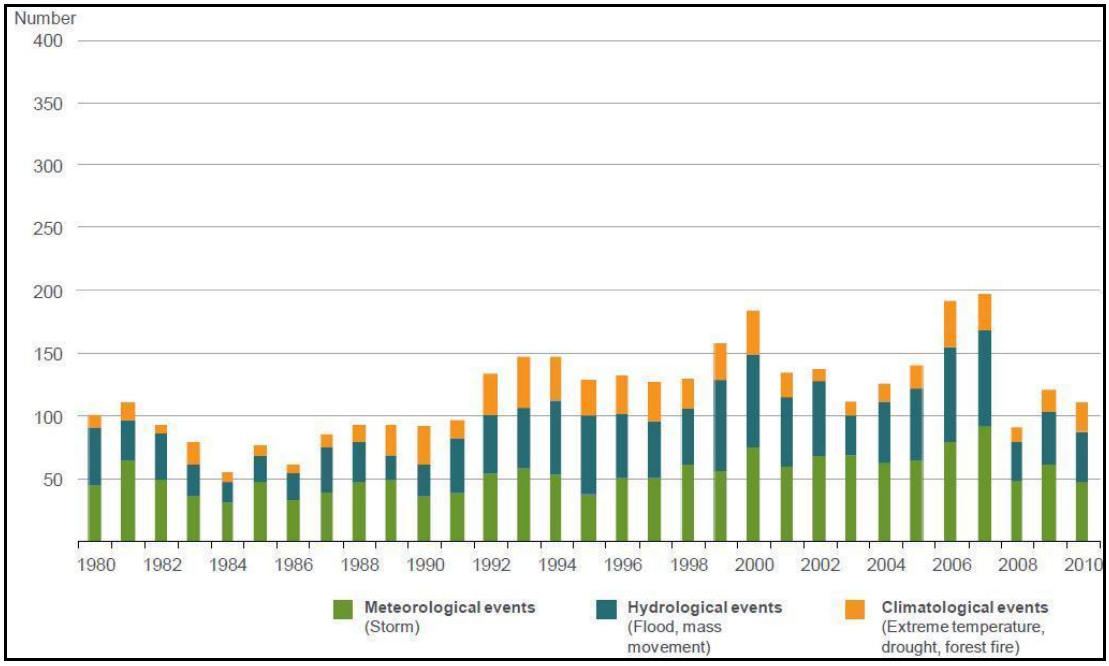


Fig. 5 – Catástrofes climáticas na Europa (adaptado de Munich RE, 2011)

Os fenómenos naturais extremos não se traduzem necessariamente em risco para os indivíduos e sistemas sociais. Apenas se traduzem em risco quando as pessoas são prejudicadas, os seus bens danificados e/ou as suas atividades económicas e sociais são interrompidas. Um fenómeno extremo, como por exemplo, uma inundação de elevada magnitude, se ocorrer numa região desabitada, sem propriedade humana, terá consequências nulas. Da mesma forma, a ocorrência de idêntica inundação numa região bem organizada, com medidas de defesa estruturais para prevenção de cheias e bons planos de gestão e emergência para cheias, terá também consequências minimizadas. Por outro lado, numa região pouco preparada, uma inundação com magnitude mais pequena pode ter consequências devastadoras.

Para Almeida (2007), o conceito de risco está associado à interação da inundação perigosa com a vulnerabilidade dos bens expostos ao impacto das inundações.

O Decreto-lei n.º 115/2010 define o risco de inundação como "*a combinação da probabilidade de inundações, tendo em conta a sua magnitude, e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural, as infra -estruturas e as atividades económicas, sendo as suas consequências prejudiciais avaliadas através da identificação do número e tipo de atividade afetada, podendo por vezes ser apoiada numa análise quantitativa*".

Devido ao facto das inundações serem cada vez mais frequentes e severas, o risco associado a estas catástrofes é cada vez maior. A consciencialização destes acontecimentos e das suas consequências promove a criação de medidas mitigadoras de eventuais cenários. A compreensão das componentes que influenciam os riscos de inundação é pertinente, pois conhecendo melhor as suas características, a abordagem ao problema será mais completa.

Da mesma maneira que a noção de risco diverge entre autores, também a noção de vulnerabilidade difere de autor para autor.

Assim, a vulnerabilidade depende da capacidade física e funcional dos elementos expostos, para resistir ao perigo. A vulnerabilidade refere-se a determinado tipo de risco e a uma região. Também depende de fatores sociais que podem contribuir, ou não, para o aumento da vulnerabilidade, isto é, pessoas que vivem na mesma localidade podem ser afetadas distintamente pelo mesmo evento (Cunha, 2006).

Para Dauphiné (2001), o conceito de vulnerabilidade procura traduzir as consequências previsíveis, sobre o Homem e a sociedade, de um fenómeno natural. Pode ser avaliada de diferentes modos, desde o valor económico-financeiro dos prejuízos (análise custo-benefício) e a quantidade de energia necessária para reparar as perdas e danos, às chamadas técnicas multicritério em que se conjugam diversos destes elementos.

O conceito de vulnerabilidade procura então traduzir as consequências previsíveis, sobre o Homem e a sociedade, de um fenómeno natural. Depende da densidade populacional, valores e organização socioculturais e da capacidade da cada sociedade para enfrentar os fatores de risco ambiental. A vulnerabilidade dos elementos expostos pode variar, havendo elementos muito mais vulneráveis que outros, como por exemplo os produtos eletrónicos e elétricos, os sistemas de aquecimento ou máquinas de lavar (que num caso de evento extremo, podem ser de muito difícil ou mesmo impossível salvaguarda). A perceção de segurança por parte das pessoas é também uma das variáveis que afeta a vulnerabilidade - caso estas não estejam sensibilizadas e alertadas para a eventualidade de virem a sofrer algum tipo de prejuízo, num cenário extremo, a sua incapacidade de reação poderá ser acentuada.

2.4.1 Classificação do Risco

O risco pode ser classificado de duas maneiras, a nível qualitativo ou quantitativo de perdas de vidas, de bens e de património (construído e ambiental).

A nível quantitativo, esta análise é sustentada pela avaliação prévia da vulnerabilidade e do valor dos elementos expostos, e em acordo com o esquematizado na Fig. 6. Assim, a análise quantitativa do risco permite a avaliação do valor do risco de inundações associado a uma determinada área geográfica.

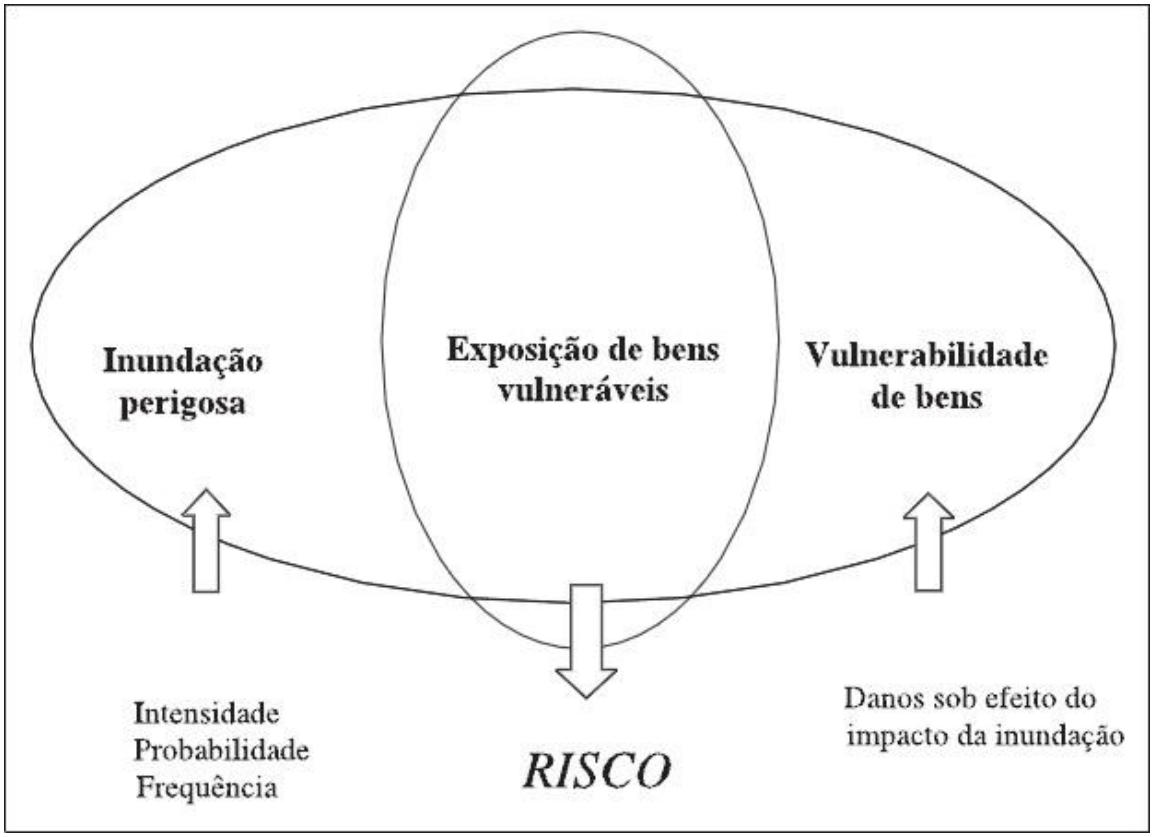


Fig. 6 – Representação do conceito geral técnico de risco de inundações (Almeida, 2007)

Tal como Kron (2003) e Vrijling et al (2005) também Westen et al (2006) referem que a melhor definição de risco é a que conjuga os três parâmetros: probabilidade de ocorrência do fenómeno extremo, exposição e vulnerabilidade. Assim, para Westen et al (2006) a melhor representação esquemática pode resumir-se numa fórmula referenciada por vários autores, tais como, Varnes (1984), Fell (1994), Leroi (1996) and Lee and Jones (2004), correspondente à equação (1).

$$R = P * V * E \qquad (1)$$

Desta forma, o risco pode ser calculado quantitativamente, sendo que

P= corresponde à probabilidade de ocorrência da inundação;

E= é a exposição à inundação (número de pessoas, de habitações ou valores económicos);

V= é a vulnerabilidade específica (danos potenciais resultantes) associada à inundação, cujo valor varia entre 0 e 1.

Os danos potenciais resultantes da ocorrência de um fenómeno extremo podem ser agrupados segundo Jonkman (2007), em diretos e indiretos e também em tangíveis e intangíveis (Tabela 1).

Tabela 1 – Classificação dos danos de inundações (Jonkman, 2007)

	Tangíveis e com valor monetário	Intangíveis e sem valor monetário
Diretos	• Residências • Bens pessoais • Interrupção dos negócios (dentro da área inundada) • Veículos • Terras agrícolas e gado • Estradas e infraestrutura de comunicação • Evacuação e operações de salvamento • Reconstrução de defesas de inundação	• Fatalidades • Acidentes • Inconvenientes e danos morais • Serviços públicos e comunicação • Perdas Históricas e culturais • Perdas Ambientais
Indiretos	• Danos para as empresas (fora da área inundada) • Ajustes na produção e os padrões de consumo fora da área inundada • Habitação temporária de evacuados	• Perturbação social • Traumas psicológicos • Redução de confiança nas autoridades públicas

De uma forma generalista, o cálculo qualitativo pode ser efetuado através da identificação das áreas de risco, indicando normalmente em mapas os cenários de probabilidade de ocorrência de um fenómeno extremo a localização dos elementos em risco (expostos). No *Guia metodológico para produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal* (Julião et al., 2009), é apresentado um esquema elucidativo desta análise, conforme representado na Fig. 7.



Fig. 7 – Zona de localização de risco (Julião et al., 2009)

2.4.2 ANÁLISE QUALITATIVA E QUANTITATIVA DOS RISCOS

A análise de risco utiliza várias dezenas de métodos específicos nos seus vários campos de aplicação. Recorre-se à avaliação qualitativa, sobretudo, quando escasseiam dados estatísticos sobre os acidentes, como no caso de acidentes particulares, sempre diferentes entre si de ocorrência para ocorrência. De facto uma análise qualitativa bem conduzida, apoiada na experiência dos especialistas, pode valer mais do que uma análise quantitativa baseada em dados escassos ou muito incertos. O cerne da metodologia qualitativa reside na avaliação de cada aspeto que afete o risco, seguindo por raciocínios sistemáticos apoiados na competência dos peritos e na experiência adquirida com ocorrências anteriores (Martins, 2009).

Na literatura sobre riscos públicos, não são descritos métodos quantitativos detalhados que suscitem muita confiança. A maior parte das obras aborda, apenas, a estrutura geral da gestão de riscos, não descrevendo métodos quantitativos concretos. É necessária mais investigação e, sobretudo, mais algum tempo de amadurecimento, para termos planos de emergência com valores dos impactes razoavelmente quantificados.

Relativamente às catástrofes naturais, a falta de dados relativos à generalidade dos eventos passados é um fator limitativo do seu uso, em virtude da existência de dados históricos ser um pré-requisito dos métodos quantitativos, uma vez que, com dados de partida, a análise quantitativa é meritória, mas, sem dados, é desprovida de qualquer sentido (Munteau, 2007).

2.5. IMPORTÂNCIA DO MAPEAMENTO DE INUNDAÇÃO E DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Durante as últimas décadas verificou-se um aumento da consciencialização da população para as consequências das inundações e como tal, um desenvolvimento nas medidas de redução e mitigação deste evento extremo.

Para o desenvolvimento de técnicas para a redução e mitigação das consequências das inundações é necessária a transição de estratégicas tradicionais de defesa de inundações, para uma abordagem destas estratégias a nível europeu. A União Europeia adotou a Diretiva relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, que obriga ao mapeamento das zonas inundáveis e à realização dos mapas de risco de inundações e à elaboração de planos de gestão dos riscos de inundação.

Para a elaboração dos planos de gestão dos riscos de inundação é fundamental a sensibilização da população e das entidades responsáveis para o risco. Somente quando estes grupos estão cientes dos riscos de inundação e são capazes de avaliar o risco é que se pode esperar uma resposta adequada a estas ameaças. Os mapas de zonas inundáveis e os mapas de risco de inundações são uma importante ferramenta para comunicar tais riscos de inundação.

No que se refere a cenários de inundações, os mapas são ferramentas que dão uma melhor impressão da distribuição espacial das áreas inundadas e consequentes riscos, quando comparados com outras formas de apresentação como diagramas ou gráficos. Uma representação gráfica de fácil leitura e elevada representatividade, pode fazer uma significativa diferença na consciencialização dos atores menos propensos à linguagem usualmente utilizada por técnicos e académicos.

3

ANÁLISE EUROPEIA E PANORAMA NACIONAL

3.1. ENQUADRAMENTO LEGISLATIVO E INSTITUCIONAL

3.1.1. LEGISLAÇÃO EUROPEIA

A União Europeia (UE), no sentido de aproximar as disposições legislativas, regulamentares e institucionais dos Estados-membros, e de reduzir as consequências associadas às inundações na Comunidade (prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas), aprovou a Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2007, relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações.

De acordo com a referida diretiva, verifica-se a necessidade de coordenação das correspondentes disposições e ações com a Diretiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro de 2000, que estabelece um quadro de ação comunitária no domínio da política da água, também referenciada como Diretiva Quadro de Água (DQA).

Deste modo, para se verificar a aplicação destas duas diretivas considera-se essencial a elaboração de planos de gestão das bacias hidrográficas para cada região hidrográfica, a par da elaboração de cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundações indicativas de potenciais consequências prejudiciais associadas a diferentes cenários e de potenciais fontes de poluição ambiental resultante das inundações.

As diretivas fixam definições essenciais para o presente estudo, tais como:

«rio»: uma massa de água interior que corre, na maior parte da sua extensão, à superfície da terra, mas que pode correr no subsolo numa parte do seu curso;

«bacia hidrográfica»: a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para o mar, desembocando numa única foz, estuário ou delta;

«sub-bacia hidrográfica»: a área terrestre a partir da qual todas as águas fluem, através de uma sequência de ribeiros, rios e eventualmente lagos para um determinado ponto de um curso de água (geralmente um lago ou uma confluência de rios);

«região hidrográfica»: a área de terra e de mar constituída por uma ou mais bacias hidrográficas vizinhas e pelas águas subterrâneas e costeiras que lhes estão associadas, constituindo-se como a principal unidade para a gestão das bacias hidrográficas;

«inundação»: cobertura temporária por água de uma terra normalmente não coberta por água. Inclui as cheias ocasionadas pelos rios, pelas torrentes de montanha e pelos cursos de água efémeros

mediterrânicos, e as inundações ocasionadas pelo mar nas zonas costeiras, e pode excluir as inundações com origem em redes de esgotos;

«risco de inundação»: a combinação da probabilidade de inundações e das suas potenciais consequências prejudiciais para a saúde humana, o ambiente, o património cultural e as atividades económicas.

3.1.2. LEGISLAÇÃO NACIONAL

Ao longo dos anos houve uma sensibilização por parte das autoridades legisladoras do país para a temática das cheias. Assim, verifica-se cada vez mais um aumento da preocupação e um refinamento das leis relacionadas com o tema.

Na sequência das cheias de novembro de 1983 foi reunido, pela Resolução do Conselho de Ministros nº2/84, um grupo de trabalho com o objetivo de proceder à análise das causas, efeitos e medidas de mitigação das cheias. Neste grupo de trabalho, desenvolveu-se um estudo técnico exaustivo da Ribeira da Laje, do qual resultou uma alteração ao Decreto-lei nº468/71 de 5 de novembro, através do Decreto-lei 89/87 de 26 de fevereiro onde se pretendia delimitar, dentro das zonas adjacentes, áreas de ocupação edificada proibida e de ocupação edificada condicionada, tal como consagrar a indispensável intervenção das câmaras municipais nestas zonas quando necessário.

"*O Governo pode classificar como zona de cheias, adiante designada por zona adjacente, a área contígua à margem de um curso de água, que se estende até á linha alcançada pela maior cheia com probabilidade de ocorrência no período de um século (cheia dos 100 anos)* " [Decreto-lei 89/87].

Com o Decreto-lei nº364/98 de 21 de novembro de 1998 estabelece-se a obrigatoriedade da elaboração de cartas de zonas inundáveis nos municípios com aglomerados urbanos que foram atingidos por inundações num período que inclua, pelo menos o ano de 1967 e que não estejam abrangidos por zonas adjacentes classificadas.

A Lei da Água, aprovada pela Assembleia da República em dezembro de 2005, assegura a transposição da Diretiva Quadro da Água, estabelecendo as bases para a gestão sustentável dos recursos hídricos e definindo todo um novo quadro institucional para o setor. Ao Instituto da Água (INAG), enquanto Autoridade Nacional da Água, compete coordenar a implementação progressiva desta legislação, enquanto a nível de região hidrográfica, as administrações das regiões hidrográficas, têm como competência a gestão das águas.

O Decreto-lei nº 115/2010 de 22 de outubro transpõe a Diretiva nº 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro, aprovando o quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundação. Este documento, estabelece a obrigatoriedade de elaboração, por parte das Administrações das Regiões Hidrográficas, de cartas de zonas inundáveis para áreas de risco e de cartas de riscos de inundações, até 22 de dezembro de 2013, devendo, igualmente, ser elaborados, para cada região hidrográfica ou unidade de gestão, planos de gestão dos riscos de inundações, até 22 de dezembro de 2015.

A nível institucional, cabe à Autoridade Nacional de Proteção Civil apoiar a Administração das Regiões Hidrográficas na gestão do desenvolvimento das ações dos planos de gestão de riscos de inundações.

De acordo com a diretiva "Avaliação e Gestão dos Riscos de Inundação" (Diretiva 2007/60/CE), o Decreto-lei nº 115/2010 determina no artigo 4º que as cartas de zonas inundáveis devem contemplar três cenários de inundação:

- Inundação de baixa probabilidade de ocorrência ou cenários de fenómenos extremos;
- Inundação de média probabilidade de ocorrência, isto é, periodicidade igual ou superior a 100 anos;
- Inundação de elevada probabilidade de ocorrência, associada a períodos de retorno inferiores a 100 anos, nas zonas densamente povoadas e naquelas em que o risco não deve ser desvalorizado, que sejam propostas pela Comissão Nacional de Gestão dos Riscos (CNGRI).

3.2. ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

As cheias e as mitigações dos problemas resultantes destas têm sido desde há muito tempo utilizadas como objeto de estudo. Desde os tempos mais remotos que as populações sentem necessidade de arranjar processos e técnicas para travar as cheias e os seus problemas. Com o passar dos anos as correspondentes técnicas foram-se aperfeiçoando e evoluindo até aos tempos atuais. Os mapas de inundação e as cartas de risco de inundação são ferramentas atuais para a prevenção e mitigação destes desastres.

Nos EUA, em 1968, e no Canadá, em 1976, foram iniciados programas de investigação sobre a temática do risco de inundação, respetivamente, o *National Flood Insurance Program* e o *Flood Damage Reduction Program*, onde os mapas de inundação já eram considerados muito importantes. No entanto, na Europa, o desenvolvimento das atividades de mapeamento de inundação só começou na década de 90 (Moel et al, 2009).

A realização destes mapas é essencialmente executada por organizações governamentais ou então por seguradoras. Com a entrada em vigor da Diretiva nº 2007/60/CE, aprovando o quadro para a avaliação e gestão dos riscos de inundação, estes mapas passam a ser obrigatórios, de maneira a uniformizar e simplificar a informação contida neles por toda a Europa.

Em termos de mapas de risco, na Europa os mapas oficiais indicando possíveis danos são raros. Os exemplos verificam-se na Alemanha (Rheinland-Pfalz, Sachsen). Itália, Espanha e Suíça que contêm mapas de zonas oficiais de risco. Esses mapas são baseados na probabilidade de inundação em combinação com o uso da terra e a sensibilidade / vulnerabilidade a inundações. Na Itália e na Suíça o zonamento de risco diz respeito à regulamentação de ordenamento do território e a requisitos de construção. Mapas de vulnerabilidade estão disponíveis na Inglaterra (vulnerabilidade social da população) e na Alemanha (serviços vulneráveis, como hospitais) (EXCIMAP,2007).

Através do estudo realizado por Moel, van Alphen e Aerts, em 2009, sobre os *Flood maps in Europe (methods, availability and use)* é possível ter uma ideia sobre a utilização deste tipo de mapas na Europa. Este estudo abordava 29 países da Europa, sendo que, destes, apenas em 5 países não eram elaborados mapas de inundação ou estes mapas eram muito limitados. Todos os restantes 24 países apresentavam mapas de inundação em praticamente todo o território ou em parte significativa deste. Dos 29 países estudados verificou-se que os mapas de amplitude de inundação são os de produção mais comum (utilizados em 23 países). Os mapas de profundidade do nível de água são menos usuais (utilizados em 7 países), verificando-se assim, um menor desenvolvimento deste tipo de mapas de inundação.

3.3. MAPAS DE INUNDAÇÃO E MAPAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO

3.3.1. INTRODUÇÃO

O mapeamento de inundação não segue uma metodologia única, existindo diversas abordagens com características mais ou menos distintas, sendo que podem ser desenvolvidas por diferentes entidades.

Os mapas de risco de inundação são realizados normalmente por organizações governamentais e usados no planeamento de emergências. Também é comum serem desenvolvidos por comissões internacionais de rios ou pela indústria das seguradoras para determinar a insegurança e diferenciar seguros.

A Diretiva (2007/60/CE) decreta que os mapas de risco de inundação deverão cobrir a área geográfica inundada usando pelo menos três cenários: baixa, média e elevada probabilidade de ocorrência. Para cada um destes cenários devem ser indicados os seguintes elementos: amplitude da inundação, profundidades de águas (cotadas topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) e o caudal de cheia ou a velocidade de escoamento correspondente (quando aplicável).

A representação da amplitude de inundações históricas pode ser considerada como uma primeira abordagem para realizar este tipo de mapas. Contudo, é necessário cautela no uso destes mapas, pois as características do terreno, nomeadamente margens e proteções, têm tendência a sofrer alterações ao longo do tempo.

De acordo com o Decreto-lei 115/2010, é necessária a realização de mapas de inundação para distintos cenários de inundação, utilizando para tal diferentes períodos de retorno. Para a obtenção deste género de mapas é essencial a utilização de modelos estatísticos e computacionais.

3.3.2. MAPAS DE INUNDAÇÃO

São vários os tipos de mapas de inundação: o mais comum é o mapa de amplitude da inundação; no entanto, o mapa de profundidades de águas (cotadas topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) também é utilizado. O Decreto-lei 115/2010 refere a necessidade de realização destes dois tipos de mapas, assim como os mapas com a velocidade de escoamento e o caudal de cheia quando aplicáveis.

3.3.2.1. Mapas de amplitude da inundação

Estes mapas são utilizados para mostrar as áreas de inundação de um evento específico. Este evento pode ser histórico representando a área de inundação provocada por um fenómeno extremo, ou pode ser um evento hipotético com um determinado período de retorno. É possível observar um exemplo destes mapas de inundação na Fig.8. É normal que a exibição dos resultados seja demarcada a cor azul, para representar no mapa as áreas que são afetadas pela inundação. Em termos de escala, o critério é variável, isto é, para áreas urbanas é usual utilizar escalas mais detalhadas (1:2.000) e para áreas rurais as escalas normalmente utilizadas são menores (1:100 000). Estes são mapas que servem de base para realizar as cartas de risco de inundação e são muito úteis no planeamento de gestão de risco, assim como no planeamento de acções de emergência.

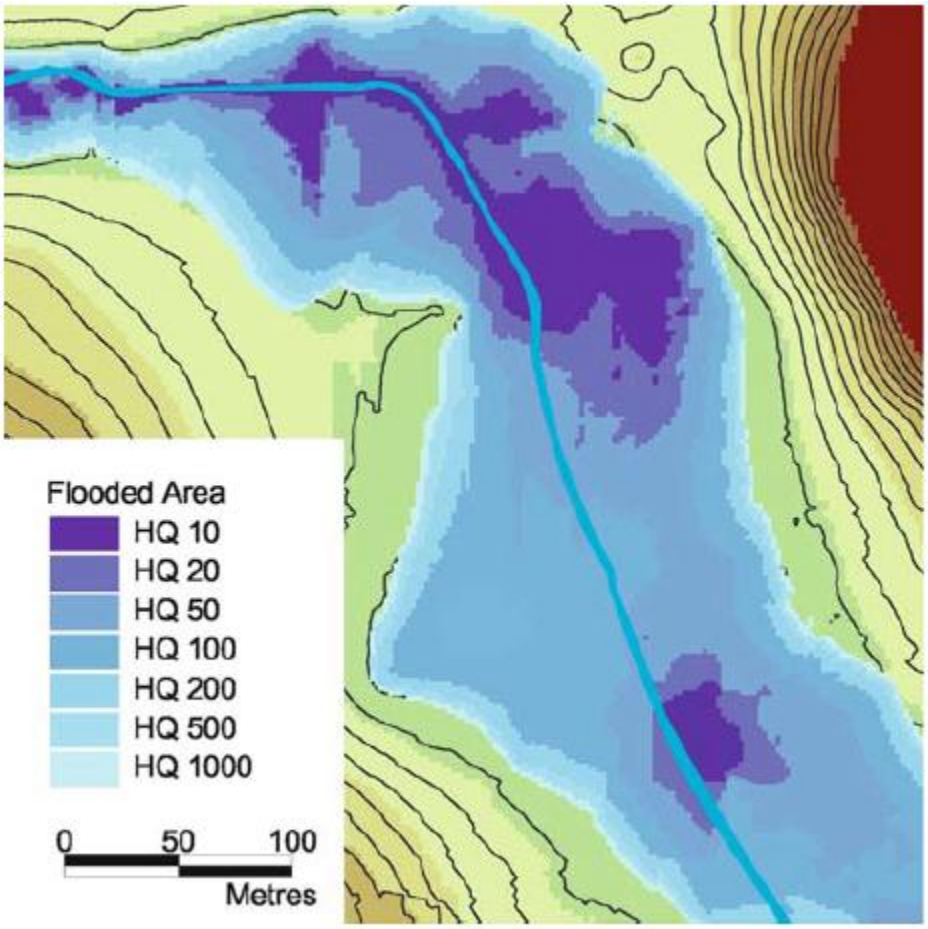


Fig.8 – Exemplo de mapa de amplitude de inundação para diferentes períodos de retorno (Merz et al, 2007)

O exemplo presente na Fig. 8 corresponde à representação de um mapa de amplitude de inundação onde se pode identificar a amplitude da inundação para diferentes períodos de retorno (10, 20, 50, 100, 200, 500 e 1000 anos), sendo cada um destes períodos de retorno (legenda HQ) identificado, em geral, por diferentes tons de azul. A tonalidade mais escura corresponde ao período de retorno de 10 anos e para períodos de retorno maiores correspondem respetivamente tonalidades mais claras. No mapa estão também identificadas as curvas de nível do terreno.

3.3.2.2. Mapas de profundidade da água (cotado topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas)

Tal como a amplitude de inundação, o parâmetro de profundidade do nível de água pode ser facilmente representado para períodos de retorno específicos. Este parâmetro pode ser representado em conjunto com a amplitude de inundação ou então pode ser representada num mapa separado. Os níveis de profundidade de água podem ser obtidos através de modelos hidráulicos (2D e 1D) ou através de observações locais. Na Fig. 9 pode ser observado um exemplar deste tipo de mapas.

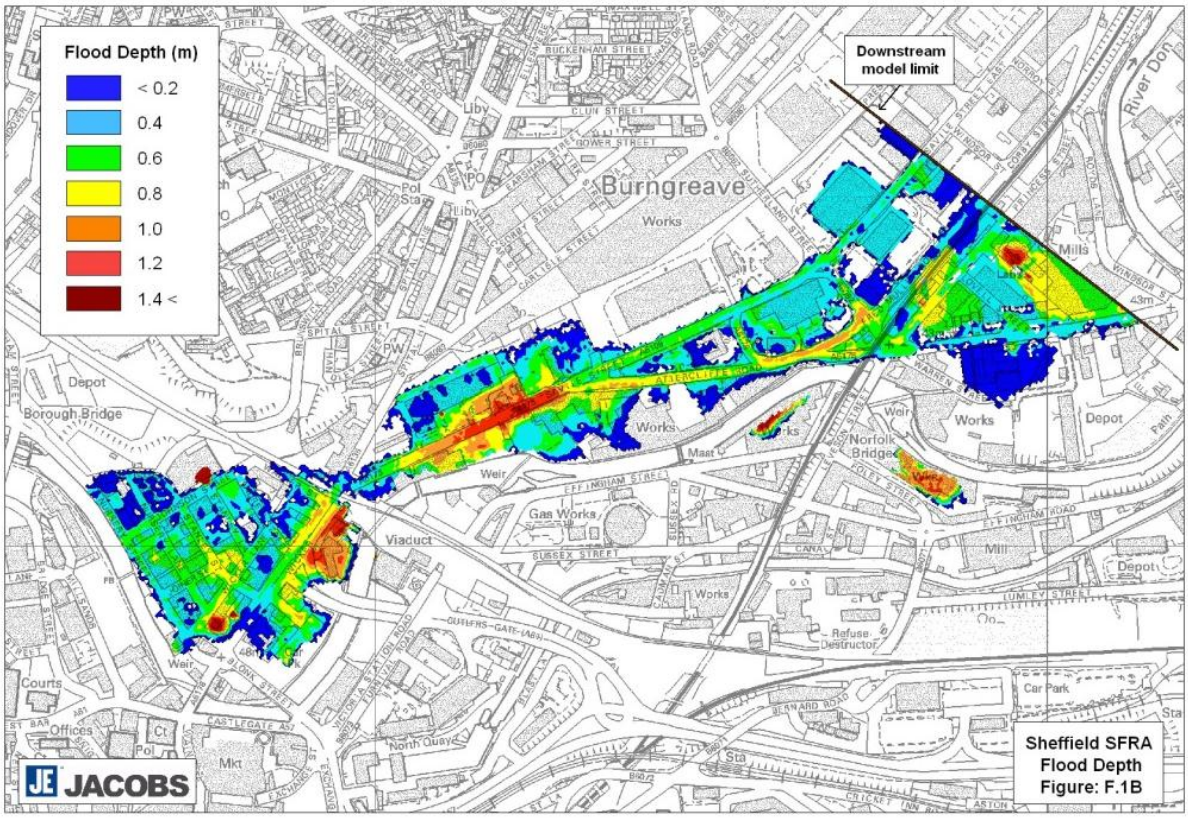


Fig. 9 – Exemplo de mapa de profundidade da água (cotado topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) (Jacobs, 2006)

A profundidade pode apresentada em centímetros ou em metros, conforme for mais apropriado. No exemplo da Fig. 9, a profundidade está indicada em metros. Nestes mapas, a escala de cores não é, em geral, a mesma utilizada nos mapas de amplitude de inundação, pois as cores não variam apenas na tonalidade. Quanto à escala, acontece o mesmo que nos mapas de amplitude, isto é, para zonas rurais a escala pode ser menor e para zonas urbanas a escala é, em geral, mais detalhada. Tal como os mapas de amplitude de inundação, estes mapas constituem uma boa ferramenta para o planeamento da gestão do risco e o planeamento de acções de emergência.

3.4. MAPAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO

O mapeamento das áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controlo e prevenção de inundações. A informação necessária para a realização destes mapas é superior à necessária para a realização dos mapas de inundação pois é essencial informação adicional sobre a exposição e vulnerabilidade das áreas a estudar.

Os mapas de áreas de risco de inundação podem também ser chamados de mapas de vulnerabilidade, pois são mapas que contêm informação sobre a vulnerabilidade de parâmetros como população ou atividade económica, potencialmente afetados por uma inundação (EXCIMAP, 2007).

A análise do risco de inundação envolve as caraterísticas dos elementos em risco. Podemos considerar como elementos em risco as populações, habitações ou construções de engenharia, atividades económicas e ecossistemas. Assim, os danos causados pela inundação não dependem somente das caraterísticas da inundação mas também da vulnerabilidade da área inundada. Por exemplo, para uma inundação com caraterísticas idênticas em termos de intensidade e probabilidade de ocorrência, uma área mais vulnerável sofre danos maiores que uma área menos suscetível (Merz et al, 2007).

No exemplo apresentado na Fig. 10, está representada a amplitude de uma determinada inundação, onde é possível identificar o tipo de ocupação do solo e distinguir instalações públicas, residências particulares, serviços e zonas mistas. Este mapa fornece informação adicional sobre os danos potenciais, expressos em €/ m^2.

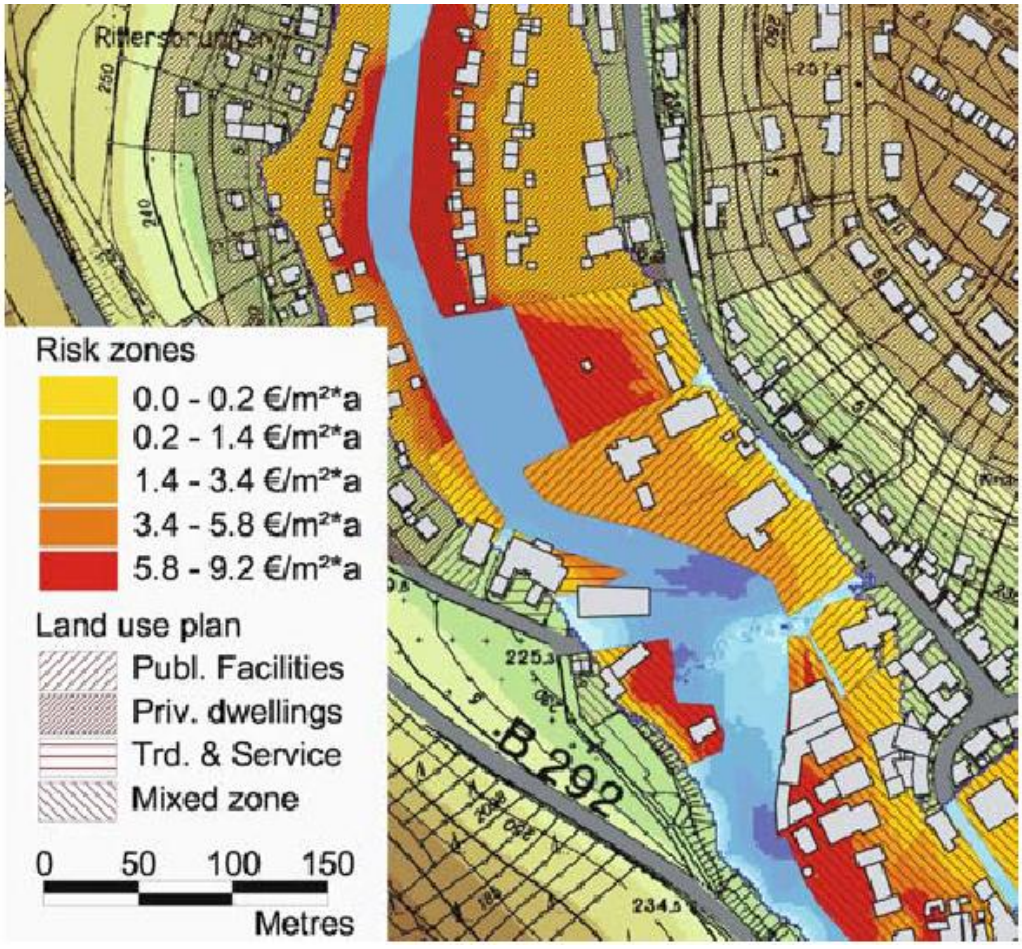


Fig. 10 – Mapa de risco de inundação indicando a distribuição das zonas de risco (Merz et al, 2007)

A informação sobre a população a considerar corresponde à distribuição da população e das correspondentes habitações. As atividades económicas são também afetadas pela inundação, e nestes casos, os mapas de vulnerabilidade indicam os diferentes tipos de ocupação dos solos (terrenos agrícolas ou áreas residenciais).

Estas cartas devem representar, de igual modo, instalações potencialmente afetadas pela inundação e que, por exemplo, possam provocar poluição, tal como estações de tratamento de água, indústria química, armazéns agrícolas para fertilizantes e qualquer outra instalação que possa causar poluição em caso de colapso ou mau funcionamento.

A fig. 11 esquematiza e esclarece as diferenças entre os mapas de inundação e os mapas de risco de inundação. Nos mapas de inundação, normalmente é representada a probabilidade de ocorrência de um fenómeno extremo (neste caso, inundação), de acordo com os períodos de retorno para os quais foi calculada, representada de acordo com uma determinada característica da inundação (o caso da Fig. 11, a profundidade da água). Assim, se a este mapa for sobreposta informação relativa à localização de residências e indústrias, é possível obter mapas de vulnerabilidade, indicando quais as residências e industrias que ficam expostas ao evento e podem estar sujeitas a danos provocados pela inundação. O risco resulta da interação da intensidade da inundação com a vulnerabilidade, e é expresso em danos corporais e/ou prejuízos materiais e funcionais, diretos ou indiretos.

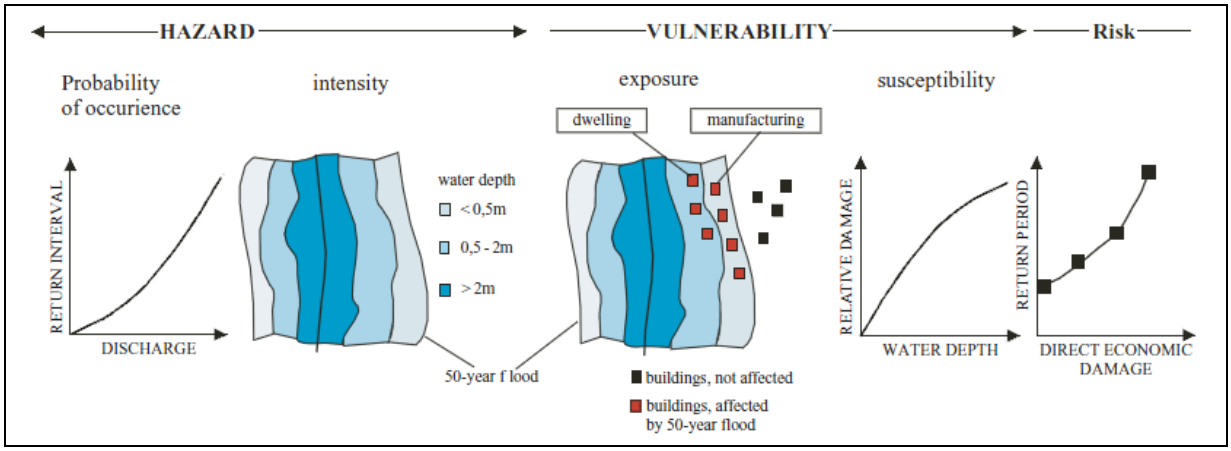


Fig. 11 – Interação dos mapas de inundação com os mapas de risco de inundação (Merz et al, 2007)

4
METODOLOGIA UTILIZADA

Este capítulo apresenta a metodologia utilizada na construção dos mapas de inundação e mapas de risco de inundação, assim como a descrição dos modelos e técnicas utilizados.

Para alcançar o objetivo proposto dividiu-se a metodologia pelas seguintes etapas:

- caracterização topográfica da bacia hidrográfica;
- estudos hidrológicos;
- modelação hidráulica (através do software HEC-RAS);
- elaboração dos mapas de inundação, com auxilio de ferramenta de geoprocessamento;
- elaboração dos mapas de vulnerabilidade;
- aplicação da matriz de risco;
- elaboração dos mapas de risco de inundação, com recurso a uma matriz de risco.

4.1. CARACTERIZAÇÃO TOPOGRÁFICA DA BACIA HIDROGRÁFICA

Para uma caracterização eficiente da bacia hidrográfica é importante que as cartas topográficas da área em estudo estejam atualizadas. Para além de dados topográficos disponíveis, é também muito importante o levantamento topográfico em campo de secções transversais ao rio, para viabilizar a simulação de um modelo hidráulico do mesmo. Deve ser realizado o levantamento de tantas secções quantos forem os elementos considerados relevantes ao longo do traçado como, alterações bruscas na geometria da secção, pontes ou açudes, para além de secções intermédias não muito espaçadas, para uma melhor caracterização do canal de escoamento. Na Fig. 12 estão esquematizados os perfis transversais típicos encontrados ao longo de um rio.

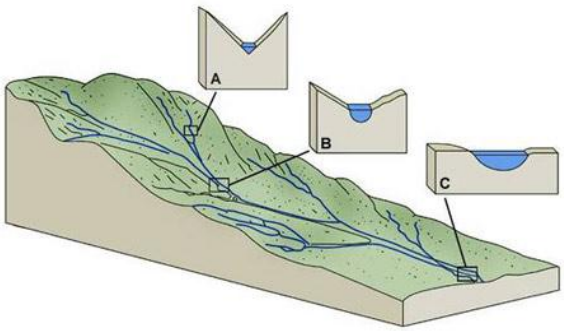


Fig. 12 – Exemplo de secções transversais num rio (adaptado do endereço eletrónico [2])

4.2. ESTUDOS HIDROLÓGICOS

No estudo de inundações fluviais é fundamental o conhecimento das características hidrológicas a que está exposta a bacia em estudo. Na realidade, conforme já foi referido em 2.3.1., são os acontecimentos meteorológicos que, em combinação com as características da bacia, podem provocar situações de inundação.

Sendo bastante usual a utilização de modelos hidráulicos para o estudo das inundações, estes necessitam de dados hidrológicos para processamento. Uma das limitações na utilização de modelos hidráulicos é, então, a disponibilidade destes dados, tanto no que diz respeito à quantidade (as séries de dados hidrológicos apresentam, muito frequentemente, falhas) quanto no que concerne à qualidade (os dados podem ser mal medidos ou mal observados). Assim, quanto menor for a disponibilidade de informação destes dados, maior será a incerteza na determinação dos valores máximos suscetíveis de serem atingidos pelos caudais de cheia.

O cenário ideal, em que na bacia em estudo existam registos de dados observados de precipitações e caudal sem falhas num período de, pelo menos, 20 anos, é importante para que seja conseguida uma maior segurança na determinação dos valores máximos suscetíveis de serem atingidos pelos caudais de cheia. Quando este cenário não é possível devido à falta de registos de caudais na bacia estudada, pode ser necessário utilizar uma analogia entre os caudais da bacia em estudo e os caudais de uma bacia modelo com características meteorológicas semelhantes. Por outro lado, quando existem registos hidrológicos mas se verifica a existência de algumas falhas é necessário preencher essas lacunas aplicando métodos específicos como, por exemplo, o método da ponderação regional ou o método das duplas acumulações.

Normalmente, os caudais de cheia utilizados correspondem a determinados tempos de retorno (TR em anos). O tempo de retorno equivale ao inverso da probabilidade de que pelo menos um evento (inundação) de intensidade igual ou superior ocorra num ano qualquer. Os caudais de cheia utilizados podem corresponder a períodos de retorno muito grandes. Como tal, para a determinação de caudais de cheia utilizam-se métodos estatísticos para análise de frequência de cheias, como o método de Gumbel-Chow ou o método de Foster-Hazen.

4.2.1. ANÁLISE CRÍTICA DOS TEMPOS DE RETORNO

A diretiva 2007/60/CE relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundação refere que devem ser realizadas cartas de zonas inundáveis para áreas de risco relativamente a três cenários, respetivamente, baixa, média e elevada probabilidade de ocorrência.

O cenário de média probabilidade de ocorrência corresponde a períodos de retorno iguais ou superiores a 100 anos. Para os cenários de baixa e elevada probabilidade de ocorrência os tempos de retorno não são especificados. Para o primeiro cenário (baixa probabilidade de ocorrência) o Decreto-lei n.º 115/2010 que transpõe para a ordem jurídica interna a diretiva 2007/60/CE, menciona que este cenário está associado a fenómenos extremos e para o outro cenário (elevada probabilidade de ocorrência) refere que os tempos de retorno são inferiores a 100 anos e que se utilizam apenas para zonas densamente povoadas e onde o risco não deva ser desvalorizado.

Há necessidade de definir os tempos de retorno correspondentes aos diversos cenários de probabilidade de ocorrência, para uma maior harmonia da informação contida nas cartas de inundação a nível nacional. Como tal, foram pesquisados quais os tempos de retorno utilizados para mapeamento de inundação por entidades nacionais, como a Autoridade Nacional de Proteção Civil, e pelas Administrações Regionais Hidrográficas (na elaboração dos Planos das bacias) e os tempos de retorno utilizados nalguns países Europeus.

Sabendo que a Autoridade Nacional de Proteção Civil é a entidade responsável pelo apoio às Administrações das Regiões Hidrográficas na elaboração dos planos de gestão de riscos de inundações, verificou-se se existia alguma pormenorização sobre os tempos de retorno utilizados por esta entidade nos seus planos. Assim, no caderno técnico publicado em setembro (Barreiros et al, 2009), com o nome de "*Guia para a caracterização de risco no âmbito da elaboração de planos de emergência de proteção civil*" é possível apurar que esta entidade distribui o grau de probabilidade em cinco grupos: elevada, média-alta, média, média-baixa e baixa probabilidade, utilizando períodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anos.

Numa análise ao Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Cávado, Ave e Leça de 2011, os tempos de retorno associados à análise dos caudais de ponta de cheia são de 2, 5, 10, 20, 50 e 100 anos.

Numa análise dos tempos de retorno a nível Europeu, também não se verificou uniformidade sobre este tema. O tempo de retorno mais utilizado é o de 100 anos e o tempo de retorno correspondente ao mais elevado nível de segurança europeia é o de 10.000 anos, utilizado na Holanda e na Suécia (Moel et al, 2009). Na Tabela 2, estão representados os tempos de retorno mais comuns utilizados por alguns países Europeus (EXCIMAP, 2007).

Tabela 2 – Exemplos de tempos de retorno utilizados na Europa

Países	Tempo de retorno (anos)
Espanha	50/100/500
Bélgica	25/50/100
Itália	50/200/500
Áustria	30/100/300

Atendendo à análise realizada sobre os tempos de retorno a nível nacional e europeu, e não esquecendo os cenários referidos no supracitado Decreto-lei 115/2010, considerou-se necessária a aplicação de três tempos de retorno distintos, respetivamente, 10, 100 e 500 anos.

4.3. MODELAÇÃO HIDRÁULICA

4.3.1. SOFTWARE HIDRÁULICO

Desenvolvido pelo HEC (*Hydrologic Engineering Center*) do Corpo de Engenheiros do Exército norte-americano, o *software* RAS *(River Analysis System*) foi concebido para efetuar cálculos hidráulicos de escoamento de água em rios e canais. (USACE – User's Manual, 2010)

O programa é usado na engenharia hidráulica para análise do escoamento em canais, e possibilita inúmeras entradas de dados, análise de componentes hidráulicos e capacidade de gerar gráficos e tabelas com resultados das simulações, introdução de pontes, simulação de redes de canais, secções compostas, estabelecimento de secções transversais com vários pontos e simulação de transporte de sedimentos.

4.3.2. MÉTODO PARA OS CÁLCULOS DE ESCOAMENTO UNIDIMENSIONAL NO HEC-RAS

O procedimento básico computacional do HEC-RAS para escoamentos permanentes é fundamentado na solução da equação unidimensional de energia (equação de Bernoulli). Os perfis das superfícies de

água são calculados através da aplicação da equação da energia (equação 2) entre duas secções transversais consecutivas, através de um procedimento iterativo.

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2)$$

Onde,

Z_1, Z_2 – elevação do canal principal nas secções transversais 1 e 2;

Y_1, Y_2 – profundidade da água nas secções transversais 1 e 2;

V_1, V_2 – velocidades médias de escoamento nas secções transversais 1 e 2;

α_1, α_2 – coeficientes de ponderação de velocidades médias;

g – aceleração gravitacional;

h_e – perda de carga (energia) por unidade de peso de água. Esta perda de energia entre duas secções 1 e 2 é composta de perdas por atrito e perdas por contração e expansão.

A equação para o cálculo das perdas de energia (h_e) entre duas seções resultante do atrito do fluido com as paredes do canal e por contração ou expansão das seções transversais é:

$$h_e = L\bar{S_f} + C\left|\frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g}\right| \quad (3)$$

O primeiro e segundo termo dessa equação representam, respetivamente, a perda por atrito e a perda por contração ou expansão, onde:

L - distância ponderada entre as duas seções;

S_f - Declividade da linha da perda de energia entre as duas seções;

C - coeficiente de perda de carga por expansão ou contração das seções transversais;

A distância ponderada L entre as duas seções é calculada através da equação 4.

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \quad (4)$$

Onde,

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} – correspondem a distâncias entre uma secção e a secção imediatamente e jusante medidas respetivamente, na margem esquerda, canal principal, e margem direita;

Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} – correspondem à média aritmética dos caudais usados entre as duas secções, respetivamente na margem esquerda, no canal principal, e, na margem direita.

Na Fig. 13, pode ver-se um diagrama explicativo dos termos da equação da energia.

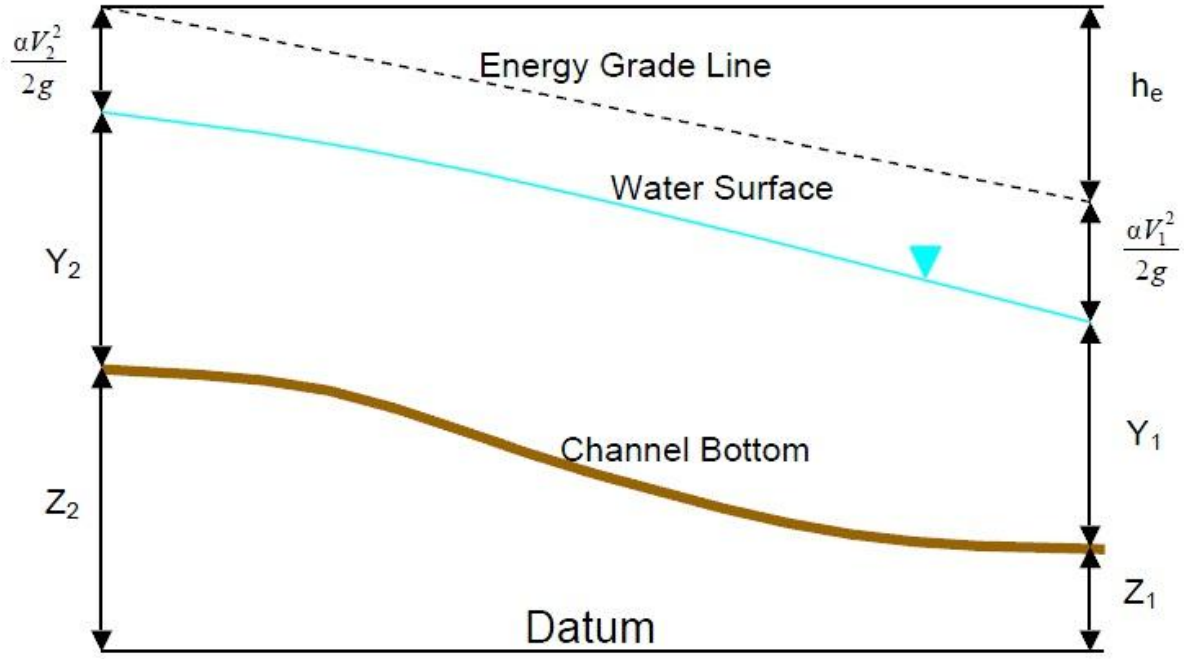


Fig. 13 - Representação dos termos da equação de energia (datum – limite de referência; Channel Bottom – talvegue do canal; water surface – superfície livre; Energy grade line – linha de energia) (USACE – User's Manual, 2010)

As interpolações são realizadas através das distâncias entre perfis transversais consecutivos, medidas no canal e em ambas as margens. De igual modo, os coeficientes de rugosidade de Manning são introduzidos no programa para três troços da secção, um correspondente à margem esquerda, outro à margem direita e um correspondente ao canal principal (Fig. 14).

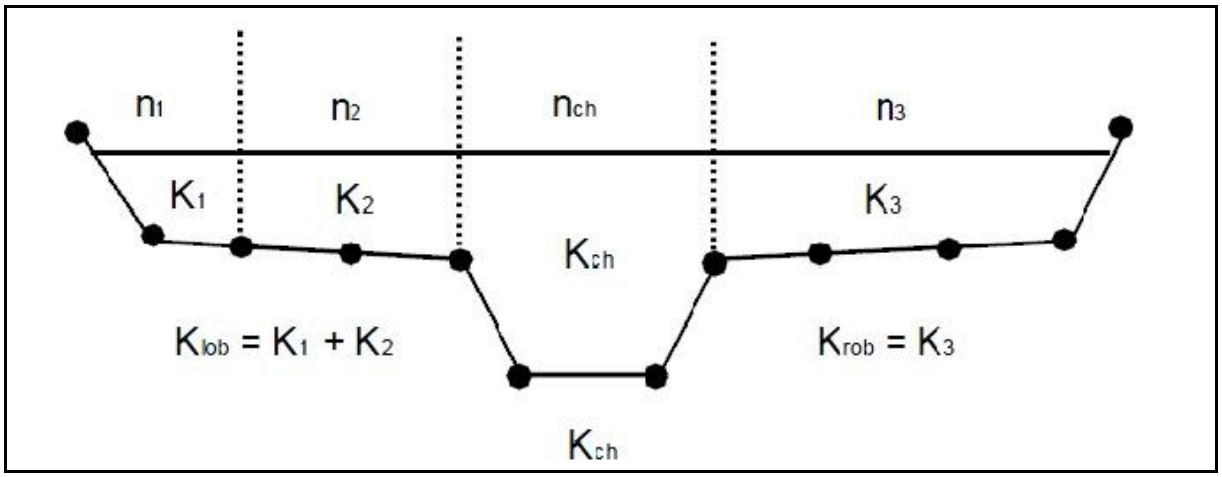


Fig. 14 – Representação dos coeficientes de rugosidade Manning (USACE – Reference Manual, 2010)

O caudal em cada subdivisão é então calculado através da equação de Manning (equação 5)

$$Q = \frac{1}{n} A \cdot R^{2/3} \cdot \bar{S}_f^{1/2} \qquad (5)$$

Onde,

Q – Caudal em cada subdivisão;

n - Coeficiente de Manning;

A - Área de cada subdivisão;

R - Raio hidráulico por subdivisão (área / perímetro molhado).

O programa assume que uma contração ou expansão ocorre sempre que a velocidade a jusante é, correspondentemente, maior ou menor do que a de montante. Quando a mudança na secção transversal de um rio é pequena, e o escoamento é lento, os coeficientes de contração e expansão são tipicamente iguais a 0,1 e 0,3, respetivamente. Quando há uma mudança repentina na área efetiva da secção, os coeficientes de contração e expansão tipicamente usados são iguais a 0,3 e 0,5, respetivamente.

4.3.3. DADOS DE BASE NECESSÁRIOS

Os dados necessários para utilizar o HEC-RAS são divididos nas seguintes categorias: dados geométricos e hidráulicos.

4.3.3.1. Dados Geométricos

Consiste em representar o sistema topográfico do rio indicando as secções transversais, a distância entre secções transversais, os coeficientes de perda de energia e as estruturas hidráulicas.

A representação em planta do rio é necessária para o início do estudo do escoamento no rio. Neste esquema em planta é possível definir a localização dos vários perfis transversais e indicar claramente o sentido do escoamento. É necessário ter em atenção que a numeração dos perfis transversais é realizada de jusante para montante.

A geometria das secções transversais é necessária para a análise de escoamento; as secções são localizadas ao longo do rio e caraterizam os cursos de água e suas planícies de inundação.

No correspondente editor do programa, é necessário indicar as distâncias entre os perfis transversais; estas distâncias medem-se na margem esquerda, na margem direita e no ponto mais baixo do canal de escoamento (talvegue). Estes três comprimentos podem ter valores semelhantes por representarem um troço linear ou podem, como no caso de existência de curvas, variar significativamente.

4.3.3.2. Dados Hidráulicos

São dois os coeficientes de perda de energia utilizados pelo *software* HEC-RAS, o coeficiente de rugosidade de Manning para as perdas contínuas e os coeficientes de contração e expansão, para avaliar as perdas localizadas.

A seleção do valor apropriado para o coeficiente de rugosidade de Manning (n), é bastante relevante para a fiabilidade dos resultados. O valor do n de Manning é bastante variável e depende de um grande número de fatores, incluindo: rugosidade da superfície, vegetação, irregularidades do canal, alinhamento do canal, deposição, obstruções, mudanças sazonais, temperatura, material suspenso e leito do canal.

4.4. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE INUNDAÇÃO

Os sistemas de informação geográfica (SIG) são cada vez mais utilizados em projetos e análises de engenharia, em especial nos campos da qualidade de água e da hidrologia. Tem-se verificado um aumento da necessidade de interligação dos SIG com os modelos matemáticos, permitindo que os SIG funcionem como uma ferramenta do planeamento, fazendo com que os dados hidráulicos sejam mais facilmente utilizados em estudos de inundação e sistemas de alerta.

Os mapas de inundação podem ser produzidos em ambiente SIG através do *software* como, por exemplo, o Arc View. Os dados são processados no programa Arc View introduzindo a superfície do terreno, e as linhas de regolfo (níveis) correspondentes aos caudais máximos de cheia para diferentes probabilidades de excedência obtidas no programa HEC-RAS.

A interação entre os programas Arc View e HEC-RAS desenvolve-se através de uma extensão chamada de HEC-GEORAS também desenvolvida pelo *Hydraulic Engineering Center* e tem como característica principal a introdução do modelo digital do terreno no estudo.

Como tal, o mapeamento das planícies de inundação através de um SIG consiste basicamente na relação entre o Modelo Digital de Terreno (MDT) da área em estudo e dos perfis com o nível de água dos eventos de cheia, para diferentes probabilidades de excedência. A qualidade do resultado final dos mapas de inundação é função dos dados de entrada, tanto no modelo hidráulico como no sistema de informação geográfica.

A classificação dos cenários de inundação nas cartas será estabelecida numa escala qualitativa com três classes: probabilidade elevada; probabilidade moderada; probabilidade baixa, estando relacionadas com a probabilidade de ocorrência da inundação, isto é, para tempos de retorno de 10, 100 e 500 anos. A representação da suscetibilidade será a cor azul, correspondendo ao tom mais escuro o tempo de retorno de 500 anos e ao tom mais claro ao tempo de retorno de 10 anos.

4.5. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE VULNERABILIDADE

O estudo de vulnerabilidades é muito complexo, sendo necessária uma grande quantidade de informação a nível multidisciplinar, isto é, em diversas áreas. Uma carta de vulnerabilidades para ser representada requer dados históricos e atuais.

A elaboração dos mapas de vulnerabilidade foi apoiada no "*Guia metodológico para produção de cartografia municipal de risco e para criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal*" (Julião et al, 2009), e no "*Guia para a caracterização do Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência*" (Barreiros et al, 2009) ambos editados pela Autoridade Nacional de Proteção Civil.

Assim, para a realização dos mapas de vulnerabilidade considera-se necessária a sobreposição de mapas de suscetibilidade de inundação e de mapas de elementos em risco, ou elementos expostos. Os mapas de suscetibilidade vão representar os diferentes cenários de probabilidade de ocorrência, por outro lado, os mapas de elementos expostos vão representar todo o edificado e estruturas existentes na área de estudo, com particular interesse os elementos considerados no artigo 8º do Decreto-lei 115/2010.

Os cenários de probabilidade da ocorrência de inundação eleitos como já referido vão ser classificados como sendo de probabilidade baixa, moderada e elevada, como pode ser verificado na Tabela 3, informativa sobre o grau de probabilidade.

Tabela 3 – Grau de probabilidade

Grau de Probabilidade	
Probabilidade	Descrição
Baixa	Inundação de baixa probabilidade de ocorrência, considerando tempos de retorno de 500 anos
Moderada	Inundação de média probabilidade de ocorrência, considerando tempos de retorno de 100 anos
Elevada	Elevação de elevada probabilidade de ocorrência, considerando tempos de retorno de 10 anos

Os elementos expostos considerados no estudo do caso prático, foram selecionados de acordo com o Decreto-lei 115/2010 relativo à avaliação, gestão e mitigação dos efeitos das inundações e distinguem-se em:

- Número indicativo de habitantes potencialmente afetados;
- Edifícios sensíveis;
- Os tipos de atividades económicas potencialmente afetadas pela ocorrência de uma inundação, devendo ser consideradas as atividades agrícolas, as industriais e os serviços considerados fundamentais, tais como infraestruturas de abastecimento de água e infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, consideradas críticas, e património cultural nacional e mundial;
- As instalações referidas no anexo I do Decreto-lei nº 173/2008, de 26 de agosto, que possam causar poluição acidental e as zonas protegidas identificadas nas subalíneas i), ii) e iv) da alínea jjj) do artigo 4º da Lei da Água, potencialmente afetadas;
- Estabelecimentos abrangidos pelo Decreto-lei nº 254/2007, de 12 de julho, que estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para o Homem e o ambiente;
- Outras (informações da ARH ou da CNGRI) de acordo com zonas onde possam ocorrer inundações que transportem um elevado volume de sedimentos e detritos, e informações sobre outras fontes importantes de poluição.

4.6. ELABORAÇÃO DOS MAPAS DE RISCO COM RECURSO A UMA MATRIZ DE RISCO

A Diretiva Europeia "Avaliação e Gestão do Risco de Inundação" (Diretiva 2007/60/CE) aborda o risco de inundação como o resultado da interação entre a probabilidade física de ocorrência de uma inundação e a exposição de uma determinada comunidade e o seu grau de preparação para o evento em causa.

De acordo com o descrito em 2.4.2, optou-se por fazer uma análise qualitativa ao risco. Utilizando para tal, uma ferramenta bem conhecida no campo da metodologia qualitativa, conhecida como Matriz de Riscos, ferramenta que foi também utilizada no "*Guia para a caracterização do Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência*" (Julião, 2009). As suas tabelas estão associadas às Probabilidade de ocorrência e à vulnerabilidade dos elementos expostos.

O método proposto para a avaliação qualitativa do risco consiste numa adaptação da matriz de riscos do referido "*Guia para a caracterização do Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência*" (Fig. 15), diminuindo as vinte e cinco possíveis situações de risco (matriz 5*5) consideradas no mesmo para apenas nove (3*3). Esta alteração foi efetuada de acordo com a Diretiva Europeia, devido ao facto de esta só referir a utilização de três cenários de probabilidade de ocorrência.

Probabilidade elevada	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo	Risco extremo
Probabilidade média-alta	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco elevado	Risco extremo
Probabilidade média	Risco baixo	Risco moderado	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo
Probabilidade média-baixa	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo
Probabilidade baixa	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado	Risco moderado	Risco elevado
	Gravidade residual	Gravidade reduzida	Gravidade moderada	Gravidade acentuada	Gravidade Crítica

Fig. 15 – Matriz de risco utilizada pela ANPC (Julião et al,2009)

De maneira a simplificar a matriz, optou-se por reduzir à classificação do grau de vulnerabilidade passando, também neste caso, a sua classificação de cinco para apenas três classes: vulnerabilidade elevada, vulnerabilidade moderada e vulnerabilidade baixa.

Para classificar a vulnerabilidade consideraram-se as caraterísticas dos elementos expostos abordados no Decreto-lei 115/2010, de acordo com o seguidamente referido.

Assim, para classificar os elementos expostos, foi considerado que, no caso particular das construções, poderiam as mesmas ser classificadas como tendo uma vulnerabilidade elevada, moderada ou então baixa, dependendo do correspondente estado de conservação, respetivamente, construções antigas sem proteção contra cheias, construções recentes e construções com proteção contra cheias.

De acordo com a alínea c (ponto 1) do artigo 8º do decreto-lei 115/2010 que pretende indicar as potenciais consequências da ocorrência de inundação expressas em termos de atividade económica, nomeadamente, atividades agrícolas, atividades industriais e serviços considerados essenciais, optou-se por classificar a vulnerabilidade de acordo com o tipo de atividade afetada. Isto é, considerando que a vulnerabilidade é baixa quando afeta somente a atividade agrícola, moderada quando afeta as atividades agrícolas e serviços e elevada quando afeta as atividades agrícolas, industriais e os serviços.

No que diz respeito à alínea f (ponto 1) do artigo 8º do decreto-lei 115/2010, foram consideradas para a classificação da vulnerabilidade as características dos aterros, por serem zonas importantes quando se fala de áreas onde podem ocorrer inundações que transportem um elevado volume de sedimentos, detritos ou lixo. Classificou-se a vulnerabilidade dos aterros como baixa, moderada e elevada, consoante o caso ser um aterro respetivamente, compacto, alagado e alagado com acumulação de lixo.

O grau de vulnerabilidade considerado no âmbito da caraterização de risco foi então classificado de acordo com os elementos expostos e está sintetizado na Tabela 4.

Tabela 4 – Grau de vulnerabilidade

Elementos	Grau de Vulnerabilidade		
	Baixa	Moderada	Elevada
Construções	Recente com proteção contra cheias	Recente	Antigas sem proteção contra cheias
Atividades afetadas	Atividade agrícola	Atividade agrícola e serviços	Atividade agrícola, atividade industrial e serviços
Aterro	Compacto	Alagado	Alagado com acumulação de lixo

Após a identificação dos graus de vulnerabilidade e probabilidade, os riscos são avaliados de acordo com o posicionamento sobre a correspondente matriz (Fig. 16), identificando o grau de risco associado como: extremo, elevado, moderado ou baixo.

Probabilidade elevada	Risco moderado	Risco elevado	Risco extremo
Probabilidade moderada	Risco baixo	Risco moderado	Risco elevado
Probabilidade baixa	Risco baixo	Risco baixo	Risco moderado
	Vulnerabilidade baixa	Vulnerabilidade moderada	Vulnerabilidade elevada

Fig. 16 - Matriz de risco adotada

Concluindo, a avaliação do risco resulta da combinação de duas componentes fundamentais: a componente natural e a componente antrópica. A primeira componente, relativa à probabilidade da inundação, associa-se aos efeitos de fatores naturais, de acordo com os diferentes tempos de recorrência da inundação. A segunda componente refere-se a riscos decorrentes da ocupação antrópica, isto é, envolvendo variáveis próprias da atividade humana (como construções e atividades económicas) que interagem de modo agravante com os fatores naturais.

Após a realização dos mapas de vulnerabilidade, resultantes do cruzamento dos mapas de suscetibilidade com os diferentes elementos em risco e depois de classificar o elemento de acordo com a matriz de risco proposta, os elementos expostos são identificados no mapa de risco através de polígonos com cores identificativas, de acordo com a matriz de risco adotada, classificando-se como risco extremo, elevado, moderado ou baixo.

5

CARATERIZAÇÃO DO CASO EM ESTUDO

5.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

De acordo com o Decreto-lei n.º 115/2010, de 22 de Outubro, que transpõe para a ordem jurídica nacional a Directiva n.º 2007/60/CE, as Administrações dos Recursos Hídricos deverão identificar e mapear zonas de risco até 2013. Assim, como efectuar uma avaliação preliminar dos riscos de inundações até Dezembro de 2011.

No Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Cávado, Ave e Leça (RH2) de Setembro de 2011, estão identificadas as zonas de risco de inundação em consequência de cheias naturais, como sendo as zonas que implicam maiores prejuízos humanos e materiais, apresentando-se portanto, a avaliação preliminar dos riscos de inundações. Tais zonas podem ser observadas no mapa – zonas de risco de inundação na região hidrográfica, presente no referido plano e que pode ser observado no anexo A1 do presente trabalho.

Sendo o objectivo do presente trabalho estabelecer uma metodologia geral para mapear essas zonas de risco, foi então identificado pela ARH do Norte, um troço de um rio do norte de Portugal para aplicar a metodologia proposta neste trabalho. O troço escolhido faz parte do rio Este, e é uma das zonas identificadas no mapa de zonas de risco de inundação elaborado pelo PGRH do Cávado, Ave e Leça.

5.2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Este situada no concelho de Braga é o caso de estudo adotado no presente trabalho, mais especificamente a sub-bacia correspondente ao troço compreendido entre Ferreiros (junto ao complexo Grundig/Delphi) e Celeirós com 3.93 km de extensão. A localização está indicada na Fig. 17.



Fig. 17 - Localização do troço em estudo usando o Google Earth

A área de estudo está incluída na bacia hidrográfica do rio Ave, que é limitada a Norte pela bacia hidrográfica do rio Cávado, a Leste pela bacia hidrográfica do rio Douro e a sul pela bacia hidrográfica do rio Leça.

A sub-bacia em análise vai ser designada como bacia de Celeirós no presente estudo e corresponde à parte de montante da bacia drenante para a secção de Ponte Junqueira (doravante designada de bacia de Ponte Junqueira) onde existe uma estação hidrométrica com registos de caudal.

5.3. CARATERIZAÇÃO FISIOGRÁFICA DA BACIA DE CELEIRÓS

Efetuou-se a delimitação da bacia de Celeirós, através das linhas de cumeada, assim como a demarcação do rio e de todas as ribeiras ou linhas de águas existentes. Essa delimitação da bacia de Celeirós está representada na Fig. 18.

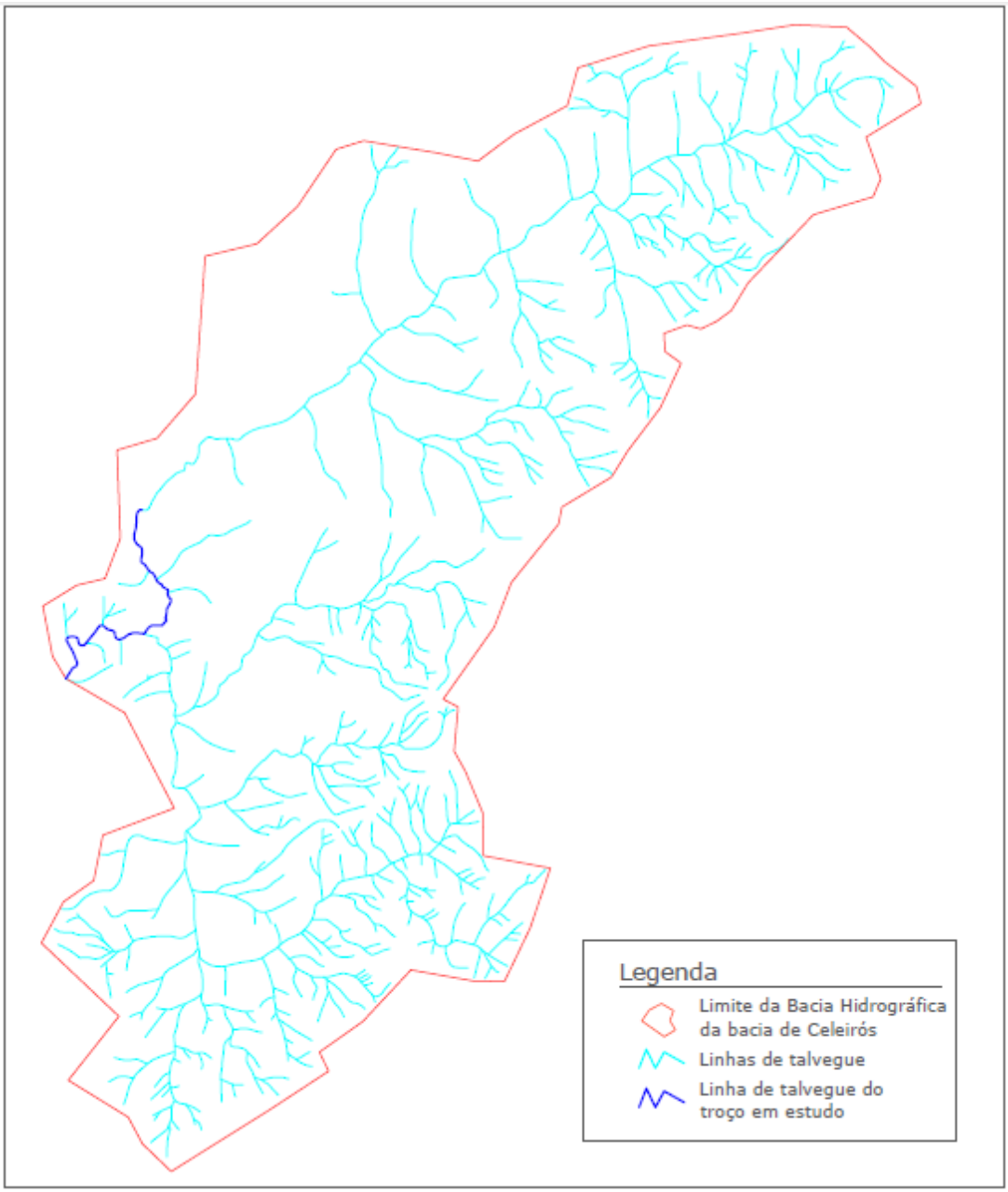


Fig. 18 - Delimitação da bacia de Celeirós, das linhas de cumeada e das linhas de talvegue, utilizando as cartas militares e a ferramenta AutoCAD

A área de drenagem da bacia de estudo tal como o perímetro e o comprimento do rio foram calculados através de ferramentas do A*utoCAD*. Numa descrição qualitativa da bacia podemos considerá-la como alongada, mas para descrever a bacia em termos quantitativos, calculou-se o coeficiente de compacidade e o fator de forma.

O coeficiente de compacidade da bacia (K_c) é traduzido pela relação entre os perímetros da bacia e da circunferência de um círculo de área igual à da bacia e raio r (equação 6).

$$K_c = \frac{P}{2\pi \times r} \qquad (6)$$

O factor de forma da bacia (K_f), definido como sendo a relação entre a sua largura média (l) e o comprimento do rio (equação 7).

$$K_f = \frac{l}{L} = \frac{A}{L^2} \quad (7)$$

As características geométricas da bacia em estudo estão resumidas na Tabela 5.

Tabela 5 – Caraterísticas geométricas da bacia de estudo

Caraterísticas da bacia	Valores
Área (Km2)	60.9
Perímetro (Km)	43.4
Coeficiente de compacidade	5.56
Fator de forma	3.94

5.4. LEVANTAMENTO DE CAMPO E CARTOGRAFIA RELEVANTE

Para a caracterização do troço em estudo, foi fornecida pelo departamento de topografia da câmara municipal de Braga, cartografia digital à escala 1/1.000 obtida por fotogrametria em 1992.

Complementarmente à cartografia acima referida, utilizaram-se levantamentos de campo também fornecidos pelo departamento de topografia da Câmara Municipal de Braga e realizados especificamente para este trabalho. O levantamento de campo refere-se a perfis transversais ao troço em estudo e indica, as principais coordenadas dos pontos que definem as margens e o canal. Para além dos perfis transversais, também foi actualizada alguma informação na cartografia digital, como por exemplo, algumas construções que não constavam na cartografia e pareceram relevantes para o estudo como por exemplo, um aterro de grandes dimensões, situado na zona de montante do troço em estudo.

5.5. CRIAÇÃO DE UM MODELO DIGITAL DO TERRENO

A partir da manipulação da cartografia em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) foi possível a elaboração do modelo digital do terreno. As curvas de nível e os pontos cotados presentes na topografia foram utilizadas para a elaboração do MDT.O Modelo Digital do Terreno foi obtido pelo método da triangulação de Delauney, que utiliza grade triangular irregular (TIN) para interpolação de curvas de nível.

5.6 USO DO SOLO E OCUPAÇÃO DO TROÇO EM ESTUDO

De um modo geral a bacia encontra-se revestida com vegetação, apesar de se verificar, em certas zonas, um declínio da superfície agrícola cultivada e o respectivo abandono das terras. A proximidade com o centro da cidade de Braga induz a um crescimento urbano acentuado e inadequado para as condições ambientais da bacia (INAG, 2000).

Através de uma visita realizada ao troço em estudo em Março de 2012 foi possível verificar situações de falta de limpeza, tais como aparecimento de lixo (Fig. 19) e vegetação caída na linha de água e nas margens (Fig. 20). A má qualidade da água era demostrada pela sua cor (Fig. 21) e pelo mau cheiro. Verificou-se também o depósito de grandes volumes de terras nas margens do rio, elevando drasticamente a cota do terreno (Fig. 22). Foram também encontrados problemas de assoreamento (Fig. 23) em alguns troços e de erosão das margens, noutros.

Maioritariamente, as zonas adjacentes ao rio Este correspondem a zonas densamente revestidas por vegetação, onde na maior parte se verifica a inutilização das terras. Existem situações pontuais de utilização do solo para actividades agrícolas, e tanto no troço de montante como no de jusante existem situações onde se verifica a utilização do solo para actividades industriais, tais como, parques e armazéns industriais.



Fig. 19 – Fotografia do rio Este mostrando a falta de limpeza no canal e margens



Fig. 20 – Fotografia do rio Este mostrando vegetação caída no leito



Fig. 21– Fotografia do rio Este mostrando a má qualidade da água



Fig.22 – Fotografia elucidativa do depósito de terras, numa das margens do rio Este



Fig. 23 – Fotografia do rio Este de um troço com problemas de assoreamento

5.7. CARATERIZAÇÃO DO REGIME HIDROLÓGICO

Para realizar a análise dos caudais de ponta de cheia, como não existiam registos na bacia de Celeirós, considerou-se necessário utilizar uma relação entre os caudais da bacia de Celeirós e da bacia de Ponte Junqueira.

A precipitação caída na Bacia de Celeirós, devido ao facto de se localizar na parte montante da bacia de Ponte Junqueira (Fig 24) é escoada através do rio Este, contribuindo para os registos de caudal apurados na estação hidrométrica de Ponte Junqueira.

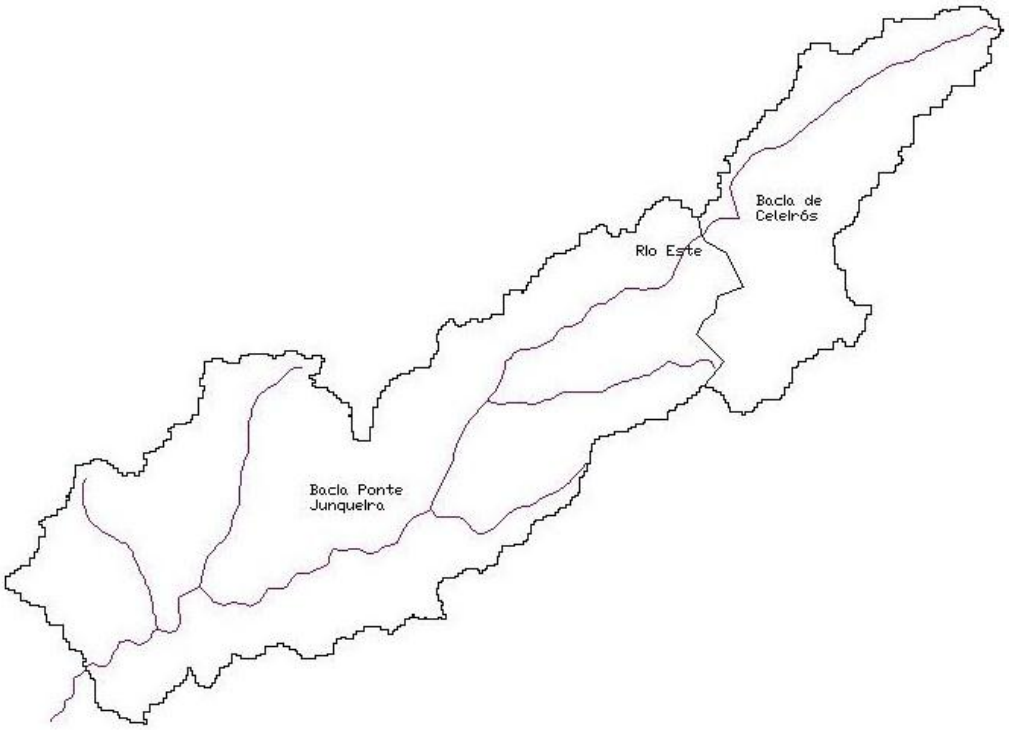


Fig. 24 - Representação da bacia de Celeirós e da bacia Ponte Junqueira

Na estação hidrométrica de Ponte Junqueira verificou-se a existência de registos de caudal médio diário (convencional) no período entre 07/03/1978 e 10/12/2000, data em que essa estaçã hidrométrica foi desinstalada. Verifica-se também que no período referido existem séries de dados completos para o período de 1978/79 a 1989/90 (12 anos) e para o período de 1995/96 a 1999/00 (5 anos).

Para uma aceitável análise dos caudais de ponta de cheia o número de registos de caudais deve ser superior a 20 anos, verificando-se necessária a colmatação dos dados em falta. Numa pesquisa à região hidrográfica em estudo, considerou-se que nenhuma das estações hidrométricas continha registos suficientes ou então não poderiam ser usadas por sofrerem de regularização do caudal a montante.

Como tal, para colmatar a falta de registos foi utilizada uma estação hidrométrica localizada na região hidrográfica do Douro. Numa análise ao PGRH do Cávado, Ave e Leça verificou-se que essa falta de respostas também foi um dos entraves para o cálculo dos caudais de ponta de cheia desse rio e também no mesmo plano se utilizaram os registos da Região hidrográfica do Douro (no caso, as fórmulas regionais).

Com isto, apurou-se então a necessidade de realizar uma dupla relação entres caudais. Numa fase inicial preencheu-se os caudais de Ponte Junqueira através da relação entre caudais com uma bacia da região hidrográfica do Douro. E posteriormente fez-se a relação entre caudais da bacia Ponte Junqueira com a bacia em estudo (bacia de Celeirós). A relação não se efetuou diretamente entre a bacia de Celeirós e a bacia da região hidrográfica do Douro pois pretendeu-se aproveitar os registos de caudais existentes em Ponte Junqueira.

5.7.1. INTERVALO DE TEMPO EM ESTUDO

Inicialmente foram utilizados os registos de caudais num período de 60 anos, mas como nas estações pluviométricas de Ponte Junqueira e de Celeirós apenas uma continha registos para todos estes anos, faltando registos nas restantes desde o período de 1945/46 até 1979/80, concluiu-se que o melhor era considerar apenas os registos a partir de 1980/81 para impedir a introdução de erros nos cálculos.

Assim, analisando os resultados do caudal para o período de 1980/81 até 2005/06 e comparando-se com as precipitações máximas no mesmo período, apura-se um desenvolvimento linear dos caudais e das precipitações ao longo dos anos, até ao ano de 2001/02. Isto é, sempre que se verifica um pico de precipitações para um determinado ano, é também verificado um pico de caudal para esse ano.

Após o ano hidrológico de 2001/02, esta linearidade entre os caudais e as precipitações já não se verifica. Por exemplo, a existência de um pico de caudal no ano 2002/03 em Fragas da Torre e o correspondente pico de precipitação na mesma bacia se verificar dois anos antes (em 2000/01), não é plausível, tal como a existência de um pico de precipitação na mesma bacia em 2004/05, sem se verificar num pico de caudal no mesmo ano (Gráfico 4 e Gráfico 5).

Pela incoerência dos dados a partir do ano de 2001/02 o estudo dos caudais foi reduzido para um período mais curto de tempo, ficando limitado ao período de 1980/01 até ao ano de 2001/02.

5.7.2. RELAÇÃO ENTRE OS CAUDAIS NA BACIA EM ESTUDO E NA BACIA MODELO

Como referido, na ausência de registos de caudais, recorreu-se a métodos indirectos que permitiram calcular aproximações desses caudais, utilizando uma relação entre caudais conhecidos e a calcular (equação 8). No caso em estudo, inicialmente fez-se uma analogia com os caudais registados numa bacia hidrologicamente semelhante (bacia hidrográfica do Douro), na secção da estação hidrométrica de Fragas da Torre, colmatando os registos em falta. Depois fez-se a relação entre os caudais de Ponte Junqueira (completados através de Fragas da Torre) e a bacia de Celeirós para obter os caudais desta última.

$$\frac{Q_e}{Q_m} = \frac{P_e}{P_m} \times \frac{A_e}{A_m} \qquad (8)$$

Q_e: Caudais na bacia em estudo (m^3/s);

Q_m: Caudais na bacia modelo (m^3/s);

P_e: Precipitações ponderadas na bacia em estudo (mm);

P_m: Precipitações ponderadas na bacia modelo (mm);

A_e: Área da bacia em estudo (Km^2);

A_m: Área da bacia modelo (Km^2).

5.7.2.1. Precipitações ponderadas na bacia de estudo

As precipitações ponderadas na bacia em estudo são dadas pela equação (9).

$$P_e = \sum_{Estações} P_i \times \frac{A_i}{A_{total}} \qquad (9)$$

P_e : precipitação mensal ponderada na bacia em estudo (mm);

P_i : precipitação mensal registada em cada estação udométrica (mm);

A_i : área de influência de cada estação udométrica (Km^2);

A_{total} : área total da bacia em estudo (Km^2).

5.7.2.2. Método de Thiessen

O método de Thiessen baseia-se no princípio de que a precipitação pode ser ponderada para uma determinada zona, admitindo que cada ponto no interior dessa zona tem uma precipitação uniforme e igual à que se verifica no posto udométrico que lhe está mais próximo (área de influência do posto).

O traçado das áreas de influência faz-se traçando polígonos definidos pelas mediatrizes dos segmentos de recta que unem os postos udométricos existentes na bacia e na sua envolvente (Fig. 25). As intersecções das áreas dos polígonos com a área da bacia determinam as áreas de influência das respectivas estações pluviométricas da bacia (Tabela 6).

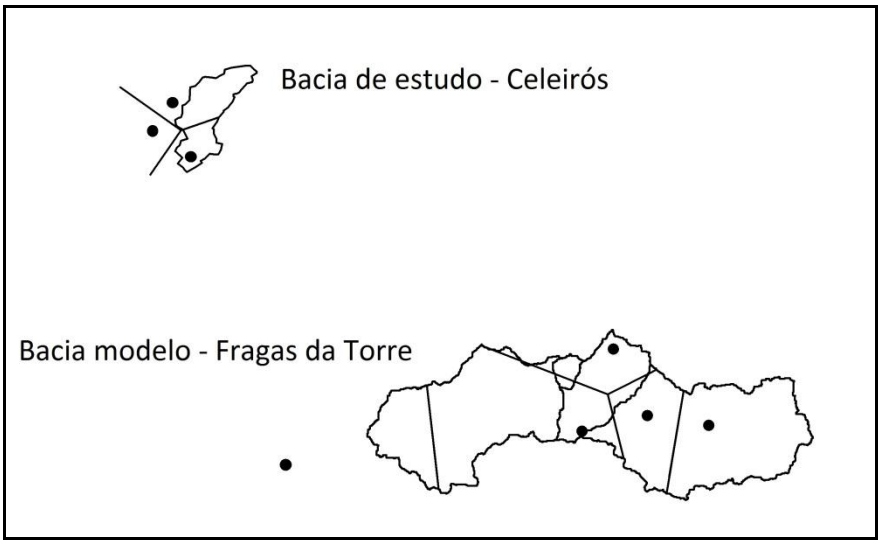


Fig. 25 - Método de Thiessen, traçado esquemático das áreas de influência dos postos pluviométricos na bacia em estudo e na bacia modelo.

Tabela 6 – Áreas de influência das estações udométricas na bacia

Estações udométricas						
Estações	Fragas da Torre		Ponte Junqueira		Celeirós	
	Área (Km2)	Ai/A (%)	Área (Km2)	Ai/A (%)	Área (Km2)	Ai/A (%)
Mezio (Paiva)	58.26	0.09				
Pendilhe	94.95	0.15				
Touro	190.9	0.3				
Barragem Castelo de Burgães	69.64	0.11				
Castro Daire	232.7	0.36				
Escudeiros			29.90	.13	38.81	0.64
Gondizalves			38.06	.16	22.07	0.36
Viatodos			70.43	.3		
Parada			30.76	.13		
Faria			37.88	.16		
Vilaça			26.81	.11		
TOTAL	646.45	1	233.84	1	60.88	1

5.7.2.3. Método da Ponderação Regional

Frequentemente os registos da precipitação num posto udométrico apresentam falhas, sendo de interesse obter as correspondentes estimativas para tornar possível o cálculo dos totais mensais e anuais. No presente trabalho este método foi utilizado para o preenchimento de falhas das estações de Mezio (Paiva) e Viatodos.

O método da ponderação regional é um método simplificado para o preenchimento de falhas num posto, através de uma ponderação dos dados desse posto com os dados de pelo menos três postos vizinhos que não apresentem falhas no mesmo instante temporal.

Os postos em análise devem pertencer a regiões climatológicas semelhantes e ter um mínimo de 10 anos de registos de dados.

Seja X o posto que apresenta falhas e A, B e C os postos vizinhos, com os quais se vai fazer a ponderação.

Pode-se determinar a precipitação PX em falta no posto X através da seguinte equação (10).

$$P_x = \frac{1}{3}\left(\frac{\overline{P_x}}{\overline{P_A}} \times P_A + \frac{\overline{P_x}}{\overline{P_B}} \times P_B + \frac{\overline{P_x}}{\overline{P_C}} \times P_C\right) \quad (10)$$

Em que:

$\overline{P_x}$, $\overline{P_A}$, $\overline{P_B}$, $\overline{P_C}$ são as precipitações médias anuais nos postos X, A, B e C.

P_A, P_B e P_C são as precipitações verificadas nos postos A, B e C, no instante temporal da falha P_X verificada no Posto X.

5.7.2.4. Método das Duplas Acumulações

As séries de precipitações para estarem completas deviam conter dados relativos ao período de 60 anos em estudo (considerados no estudo inicial, de 1945/1946 até 2005/2006). Como tal não acontecia nos registos das estações de Pendilhe, Touro, Barragem Castelo de Burgães, Castro Daire, Escudeiros e Gondizalves aplicou-se o método das duplas acumulações para completara as correspondentes séries.

Nas estações de Mezio (Paiva) e Viatodos existiam todos os registos das precipitações mensais durante os 60 anos de estudo (considerados inicialmente). A estação Viatodos foi utilizada para completar as estações de Escudeiros e Gondizalves pertencentes à Bacia do Ave e a estação de Mezio (Paiva) foi utilizada para completar as estações pertencentes à Bacia do Douro.

Depois, aplicaram-se regressões lineares entre as precipitações mensais acumuladas da estação modelo e as precipitações mensais acumuladas de cada estação cujos registos estavam incompletos. Recorreu-se pois, aos registos que existiam nas séries incompletas e aos registos da estação modelo nos anos correspondentes. Das regressões lineares obtiveram-se rectas, de onde se retiram os valores em falta das precipitações mensais acumuladas nos postos em falta.

5.7.3. BACIA MODELO DA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO DOURO

Na pesquisa às estações hidrométricas do Douro optou-se por tentar utilizar uma estação com o maior número de registos e o mais recentes possível. Assim, comparou-se o comportamento da bacia de Ponte Junqueira com as bacias de Vale Giestoso, Cunhas e Fragas da Torre.

A pesquisa consistiu na análise da média das precipitações ponderadas mensais entre os anos de 1978 e 1990 da bacia de estudo e das bacias modelo, tendo-se verificado que apesar de todas apresentarem uma precipitação semelhante, a bacia de Fragas da Torre é a que tem uma precipitação mais similar à bacia Ponte Junqueira ao longo de todos os meses. Como se pode apurar no Gráfico 1.

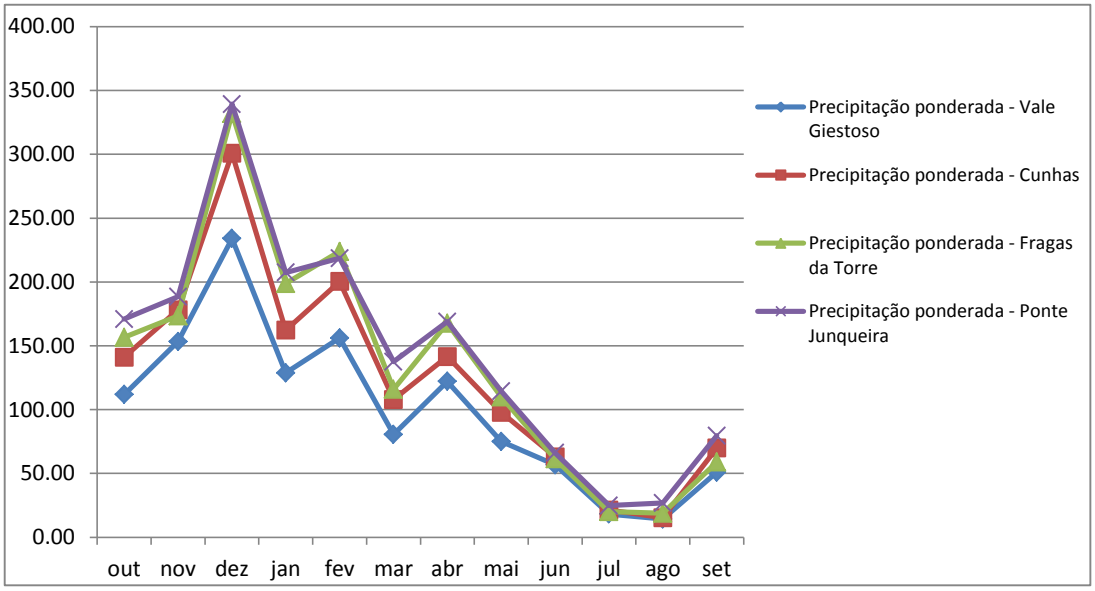


Gráfico 1 - Média das precipitações ponderadas mensais entre os anos de 1978/90 da bacia de estudo e das bacias modelo

Foi possível definir os caudais médios diários mensais para Ponte Junqueira a partir de uma correlação entre as precipitações ponderadas e os caudais médios diários mensais de cada uma das bacias modelo. Verifica-se nesta correlação que os caudais têm a mesma evolução ao longo dos meses, apesar de serem quase sempre superiores aos caudais em Ponte Junqueira (Gráfico 2), factor que poderá levar a uma sobrevalorização dos resultados, originando resultados pelo lado da segurança.

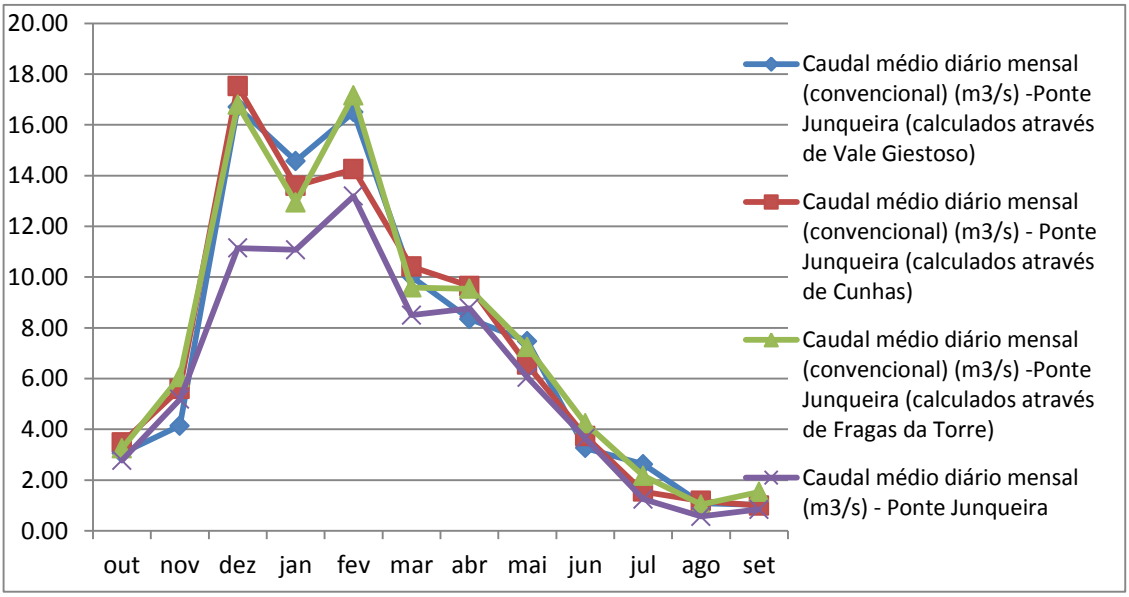


Gráfico 2 - Média dos caudais médios diários mensais para Ponte Junqueira calculados através de cada uma das bacias modelo entre os anos de 1978/90

Numa análise de regressão e correlação, com os caudais reais e calculados de Ponte de Junqueira, verifica-se que a bacia drenante de Fragas da Torre é a mais favorável, dado o seu coeficiente de determinação ser o mais próximo da unidade. Os coeficientes de determinação para Vale Giestoso, Cunhas e Fragas da Torre são respectivamente, 0.212, 0.788 e 0.835.

De acordo com os resultados obtidos, a bacia modelo escolhida para completar os dados da estação hidrométrica de Ponte Junqueira foi Fragas da Torre, pois é a que apresenta uma melhor relação entre caudais, comparativamente à bacia de estudo (Gráfico 3).

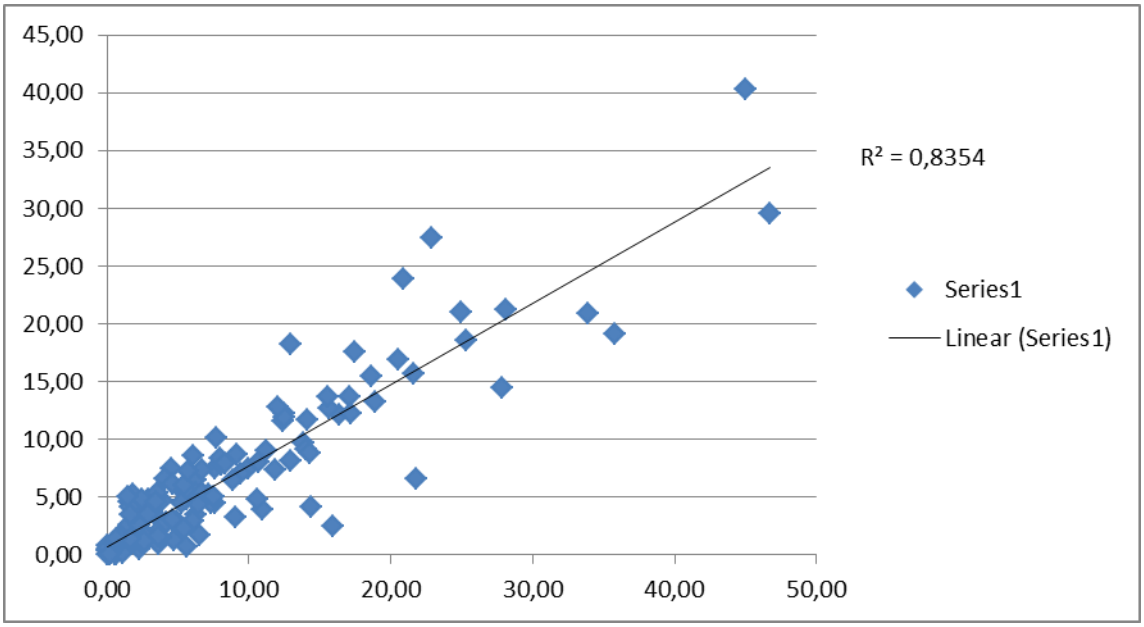


Gráfico 3 – Análise de regressão e correlação com os caudais reais de Ponte de Junqueira e os caudais calculados através de Fragas da Torre

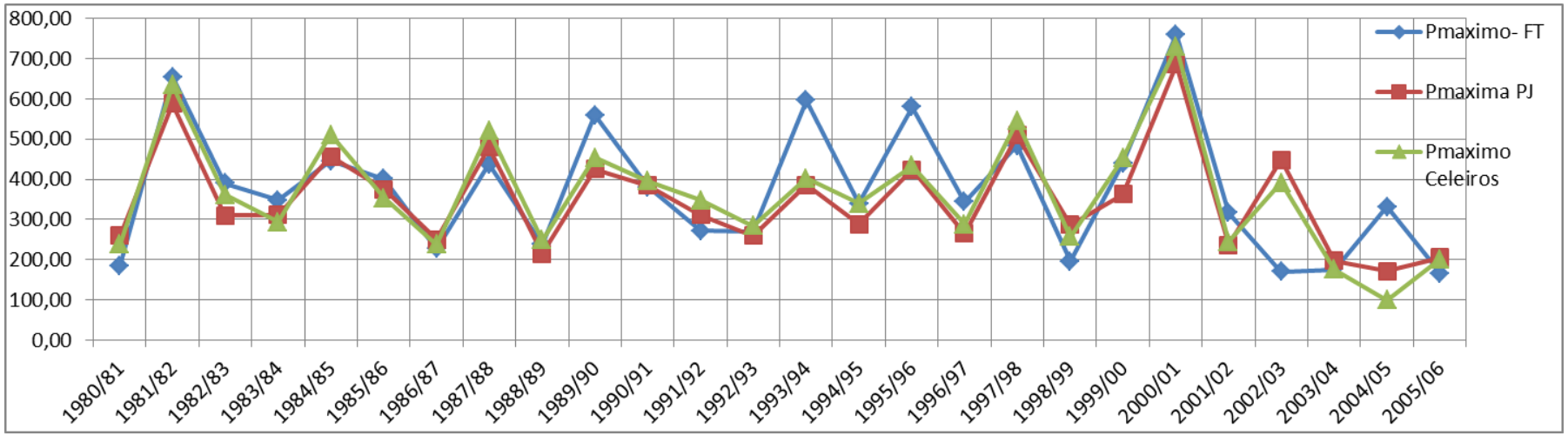


Gráfico 4 – Evolução da precipitação nas bacias no período de 1980/81 até 2005/06

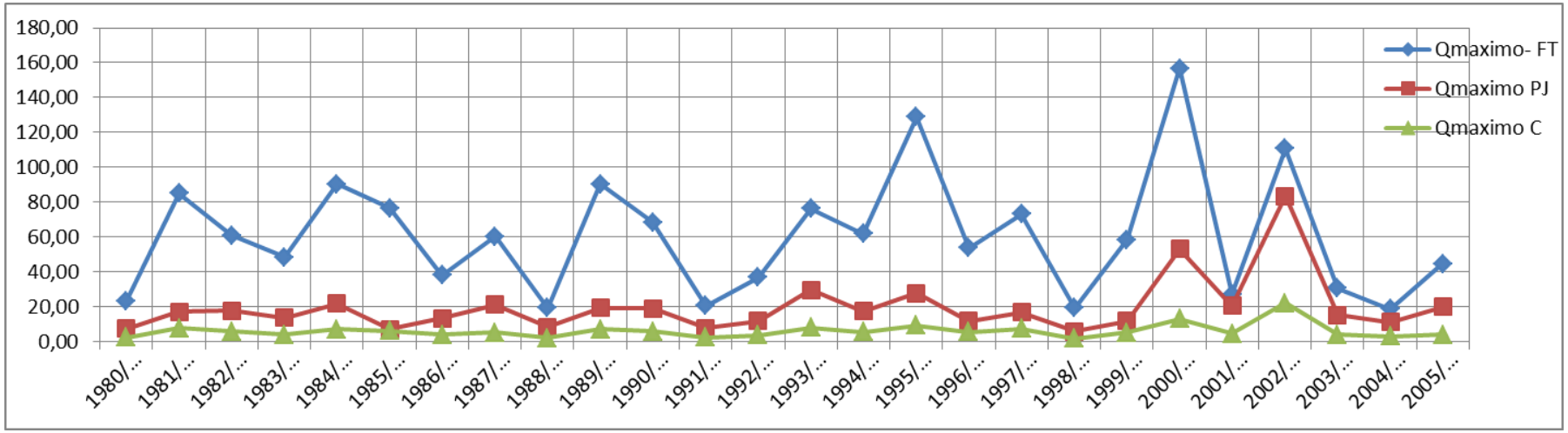


Gráfico 5 - Evolução do caudal nas bacias no período de 1980/81 até 2005/06

5.7.4. CAUDAL DE PONTA DE CHEIAS

Na previsão de caudais de cheia, utilizam-se frequentemente métodos estatísticos. O método estatístico inicialmente utilizado no trabalho prático foi o método de Gumbel-Chow. Este método considera a existência de n anos de observação de cheias, e se, dessas observações se pretender retirar n valores máximos de cheia, tal pode ser feito através de dois métodos, o método dos máximos anuais e o método das excedências anuais. No caso de estudo foi utilizado o primeiro que consiste em retirar o valor máximo em cada ano de observação.

O Método de Gumbel-Chow foi utilizado para fazer uma estimativa dos valores dos caudais máximos anuais (Q) para períodos de retorno (T) de 10, 100 e 500 anos a partir dos caudais em 22 anos consecutivos.

Para aplicar o método de Gumbel-Chow deve ordenar-se os caudais máximos anuais por ordem decrescente e calcular o tempo de recorrência para o respectivo valor de ordem m (equação 11)

$$T_M = \frac{n+1}{m} \qquad (11)$$

Para cada tempo de recorrência deve calcular-se a constante k (equação 12), sendo γ=0.5772157 (constante de Euler).

$$K = -\frac{\sqrt{6}}{\pi} \times (\gamma + ln[lnT_M - ln(T_M - 1)]) \qquad (12)$$

Através de uma relação linear entre y e K (Equação 13) é então possível calcular os caudais para cada tempo de retorno; no presente trabalho foram obtidos os resultados da Tabela 7.

$$Q_c = \sigma \times K + \bar{Q} \qquad (13)$$

Tabela 7 - Caudais obtidos pelo método de Gumbel

T (anos)	Q (m^3/s)
10	8.61
100	14.04
500	17.77

Após a apreciação dos resultados, e tendo-se verificado que, de acordo com os mesmos que o caudal de cheia do ano hidrológico 2000/01 correspondia a um valor superior ao caudal de uma cheia centenária. O Plano Municipal de emergência da protecção civil de barcelos (PMEPCB, 2011), refere que as cheias históricas de 2001 correspondem a períodos de retorno de 40 anos, assim, concluiu-se que a utilização dos resultados obtidos através de Gumbel-Chow não era muito sensata.

Como tal, pareceu mais razoável utilizar os valores de caudais calculados através do ajuste de uma linha de tendência do tipo exponencial aos valores de caudais máximos anuais e utilizando a equação da respectiva linha de regressão. Para estes resultados verificou-se que o valor de caudal de cheia do ano de 2000/01 corresponderia a um tempo de recorrência de 40 anos, situação que se evidenciou mais plausível de acordo com o anteriormente descrito. No gráfico 6 pode então ser observado o ajustes exponenciais utilizados, respectivamente, para os caudais máximos anuais e para os caudais obtidos pelo método de Gumbel.

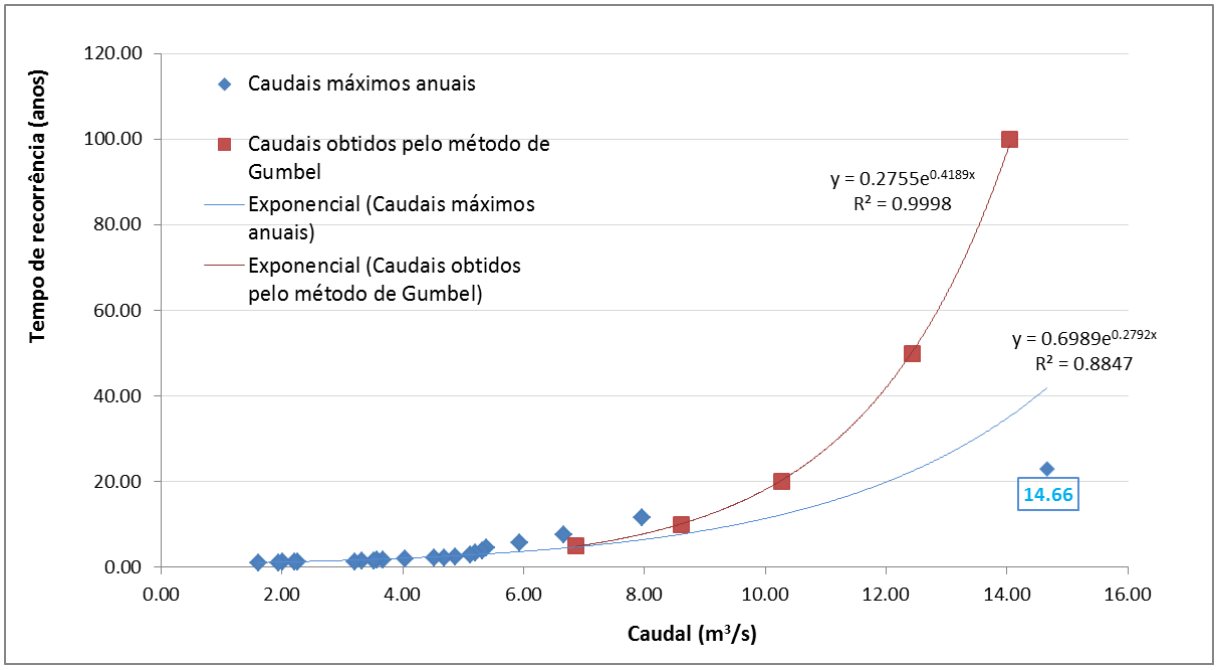


Gráfico 6 – Representação dos resultados obtidos para a correlação linear dos caudais máximos anuais e para os caudais obtidos pelo método de Gumbel

Assim, os caudais utilizados no caso de estudo foram os resultantes da Regressão exponencial e podem-se ver na Tabela 8.

Tabela 8 – Caudais obtidos por aproximação exponencial

T (anos)	Q (m^3/s)
10	9.53
100	17.78
500	23.54

5.8. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA

Para a modelação do leito de cheias, foram utilizados inicialmente apenas os perfis transversais. Como os resultados obtidos para a simulação da inundação através do HEC-RAS 4.1.0 não eram coincidentes com a realidade, e uma das possíveis razões para isso acontecer era o facto do troço em estudo ser muito sinuoso, optou-se por introduzir o traçado do rio em planta.

Para tal, no SIG criado em ArcView, através da extensão Hec-GeoRas, introduziram-se os elementos de base definidos por linha do talvegue, margens, sentido do escoamento e secções transversais, e importou-se para o Hec-Ras, constituindo a base geométrica do trabalho.

Efectuaram-se três simulações correspondentes a caudais de ponta de cheia, obtidos para tempos de retorno de 10, 100 e 500 anos, e considerou-se que o escoamento se processava de modo lento pelo que a secção de controlo era a de jusante. Nessa secção a condição de fronteira considerada foi a inclinação do talvegue entre os dois últimos perfis.

As condições de escoamento simuladas foram, sempre que possível, ajustadas às condições reais: através da introdução de pontes, açudes e revestimentos dos canais e margens através da introdução de adequados coeficientes de rugosidade de Manning.

A definição dos valores de rugosidade é um passo significativo para que o modelo simule com o maior realismo possível as curvas de regolfo (níveis) geradas pelas cheias. Para estimar os valores dos coeficientes de rugosidade recorreu-se à bibliografia da especialidade (Lencastre et al, 1992) para obter os valores destes coeficientes de acordo com as características dos troços do rio em estudo.

Como tal, houve a necessidade de distinguir para cada troço, as caraterísticas de rugosidade do curso de água em planície, das caraterísticas das planícies de inundáveis em ambas as margens. Numa apreciação geral, verifica-se que os valores dos coeficientes de rugosidade nas planícies de inundação são sempre iguais ou então superiores às rugosidades no curso de água em planície.

Analisando o caso de estudo de montante para jusante, e focando inicialmente o curso de água em planície, apurou-se que, nos troços a montante, o valor de "n" corresponde a 0.04 $m^{-1/3}s$ (k=25) devido ao canal se caraterizar por ser limpo, sinuoso e com algumas zonas profundas e baixios; aumentando em valor para 0.05 $m^{-1/3}s$ (k=20) quando as condições do curso se agravam e se verificam níveis mais baixos, declives e secções menos efectivas; havendo havendo sítios em que o valor de "n" atinge valores de 0.07 $m^{-1/3}s$ (k=14.3) onde nomeadamente se verifica a existência de troços com muita vegetação, e a presença de troncos no leito. Entre o perfil 2451.449 m e o perfil 2167.639 m verifica-se que o canal é limpo e rectilíneo, não apresentando quedas ou zonas profundas, pelo que se considerou um "n" de 0.035 $m^{-1/3}s$ (k=29); nos troços finais, depois destes perfis considerou-se outra vez valores de rugosidade para o canal de 0.04 $m^{-1/3}s$ (k=25) devido ao facto do troço se tornar mais sinuoso.

No que respeita às planícies inundáveis, verifica-se na parte montante troços caracterizados por mato disperso com valores de "n" iguais a 0.05 $m^{-1/3}s$ (k=20), seguidos de troços com mato médio a denso em que o valor de "n" se elevou para 0.07 $m^{-1/3}s$ (k=14). Existem contudo, troços caracterizados por áreas cultivadas, onde os valores de "n" variam entre 0.035 $m^{-1/3}s$ (k=29), e 0.04 $m^{-1/3}s$ (k=25), de acordo com o tipo de cultura, se se encontra em linha ou dispersa.

5.9. ELEMENTOS EM RISCO

Relativamente ao mapeamento e avaliação de áreas de risco de inundações, este trabalho tem o objectivo de definir para os diferentes cenários de inundação (10, 100 e 500 anos) e através da avaliação da vulnerabilidade dos elementos em risco, a classificação do risco dos elementos expostos.

Como tal, os elementos expostos considerados no estudo do caso prático, foram seleccionados de acordo com o Decreto-lei 115/2010, relativo à avaliação, gestão e mitigação dos efeitos das inundações, e são indicados e analisados de seguida.

Por simplificação, o número indicativo de habitantes potencialmente afectados por uma inundação foi analisado em termos de habitações, referenciando-se o número de habitações potencialmente afectadas pela inundação. Contudo, julgou-se também importante a indicação de construções como moinhos, azenhas e habitações abandonadas, pois a proximidade ao rio e facilidade de acesso poderão colocar os habitantes em risco.

O Decreto-lei 115/2010, define como edifícios sensíveis: hospitais, lares de idosos, creches, infantários, escolas, edifícios de armazenamento ou processamento de substâncias perigosas (voláteis, inflamáveis ou explosivas, tóxicas ou reactivas em contacto com a água), infra-estruturas de gestão de

efluentes e de armazenamento ou transformação de resíduos, e edifícios com importância na gestão de emergências, nomeadamente quartéis de bombeiros, instalações das forças se segurança e das forças armadas, da Cruz Vermelha, comando nacional e comandos distritais de operações de socorro e serviços municipais de protecção civil. De acordo com tal, os únicos edifícios considerados sensíveis no troço em estudo foram as do tipo de infra-estruturas de gestão de efluentes. Verificou-se a presença de dois edifícios deste tipo, caracterizando-se por serem, estações elevatórias de águas residuais do sistema cidade (Fig. 26).



Fig. 26 – Fotografia obtida "*in situ*" representativa de uma "estação elevatória de águas residuais do sistema cidade"

Consoante o que vem enunciado no Decreto-lei 115/2010, os elementos expostos também devem ser expressos através do tipo de actividades económicas potencialmente afectadas pela ocorrência de uma inundação, tais como actividades agrícolas e industriais, assim como os serviços considerados fundamentais, tais como infra-estruturas de abastecimento de água e infra-estruturas rodoviárias e ferroviárias, consideradas críticas, e património cultural nacional e mundial.

Analisando o troço em estudo foi possível testemunhar a presença de três unidades industriais, duas localizadas exactamente nas partes montante e jusante do troço em estudo e a outra localizada a meio, representadas a roxo na Fig. 27. As infra-estruturas consideradas correspondem a pontes e troços de estrada que podem ser afectados com as inundações (Fig. 27, Fig.28, Fig.29 e Fig.30). As poucas zonas agrícolas existentes eram relativamente pequenas e de subsistência, logo sem relevância económica e não foram consideradas.

Para uma melhor perceção estão representadas de seguida imagens ilustrativas dos elementos expostos ao longo do troço em estudo. O troço está dividido em quatro tramos indicando em cada um destes quais os elementos expostos estudados no trabalho.

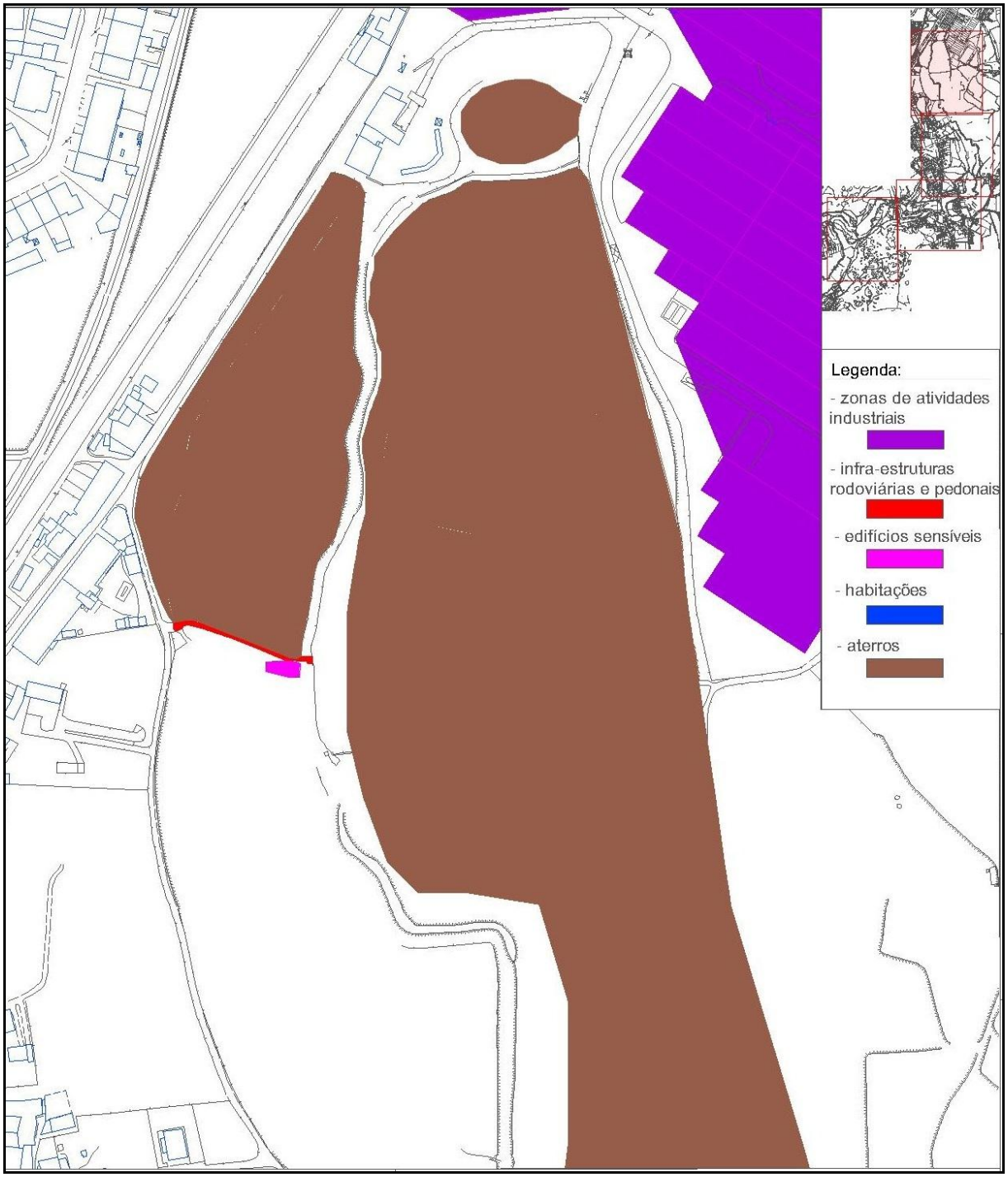


Fig. 27 - Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do primeiro tramo

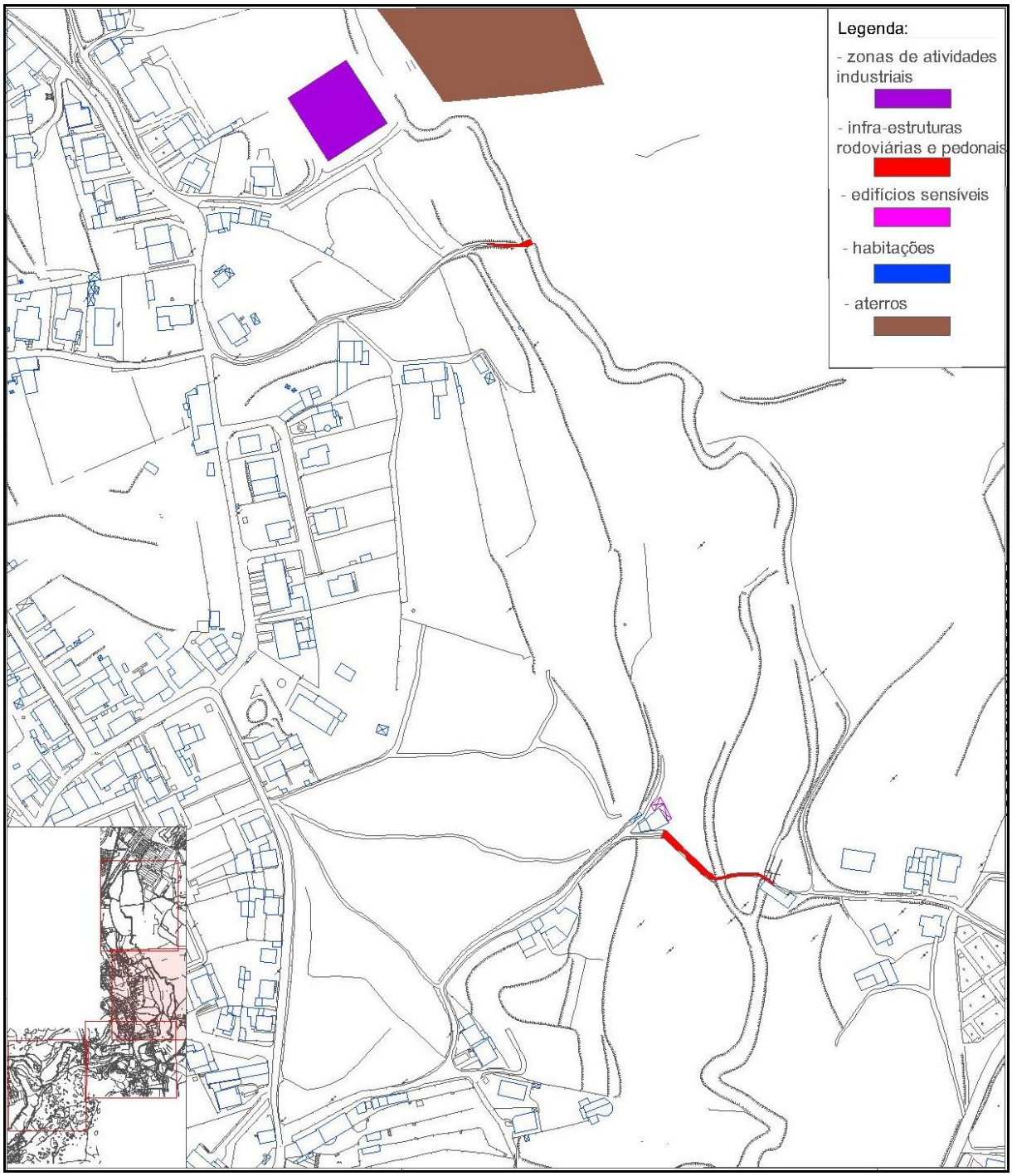


Fig. 28 - Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do segundo tramo

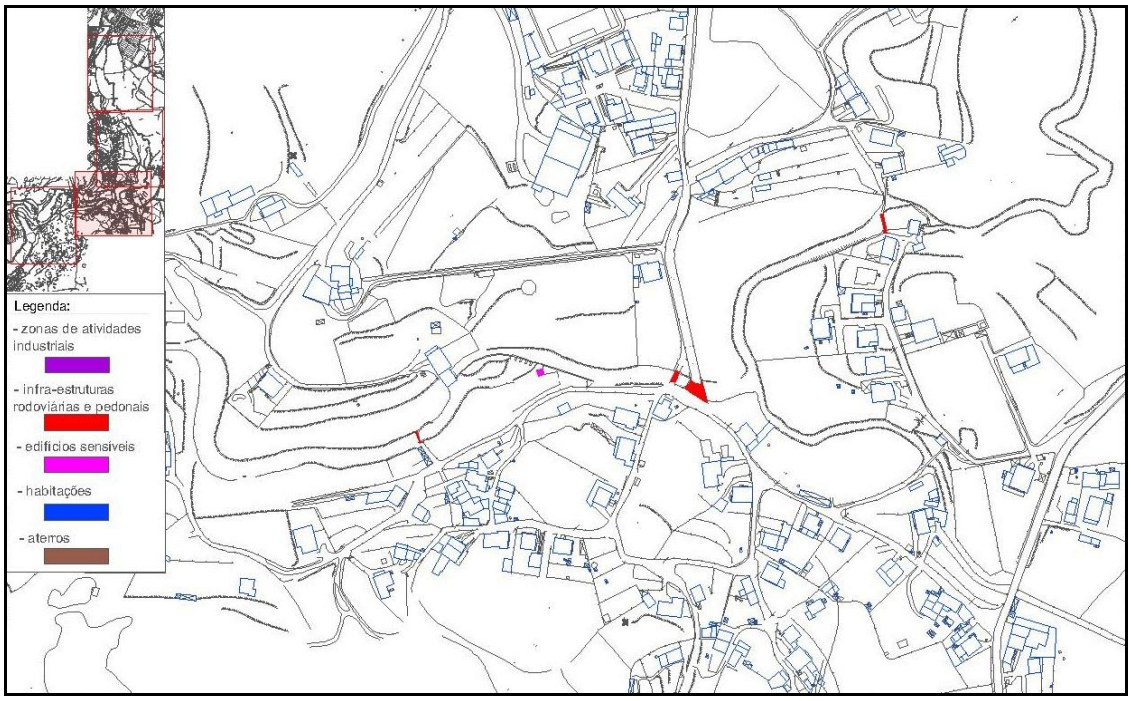


Fig. 29 - Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do terceiro tramo

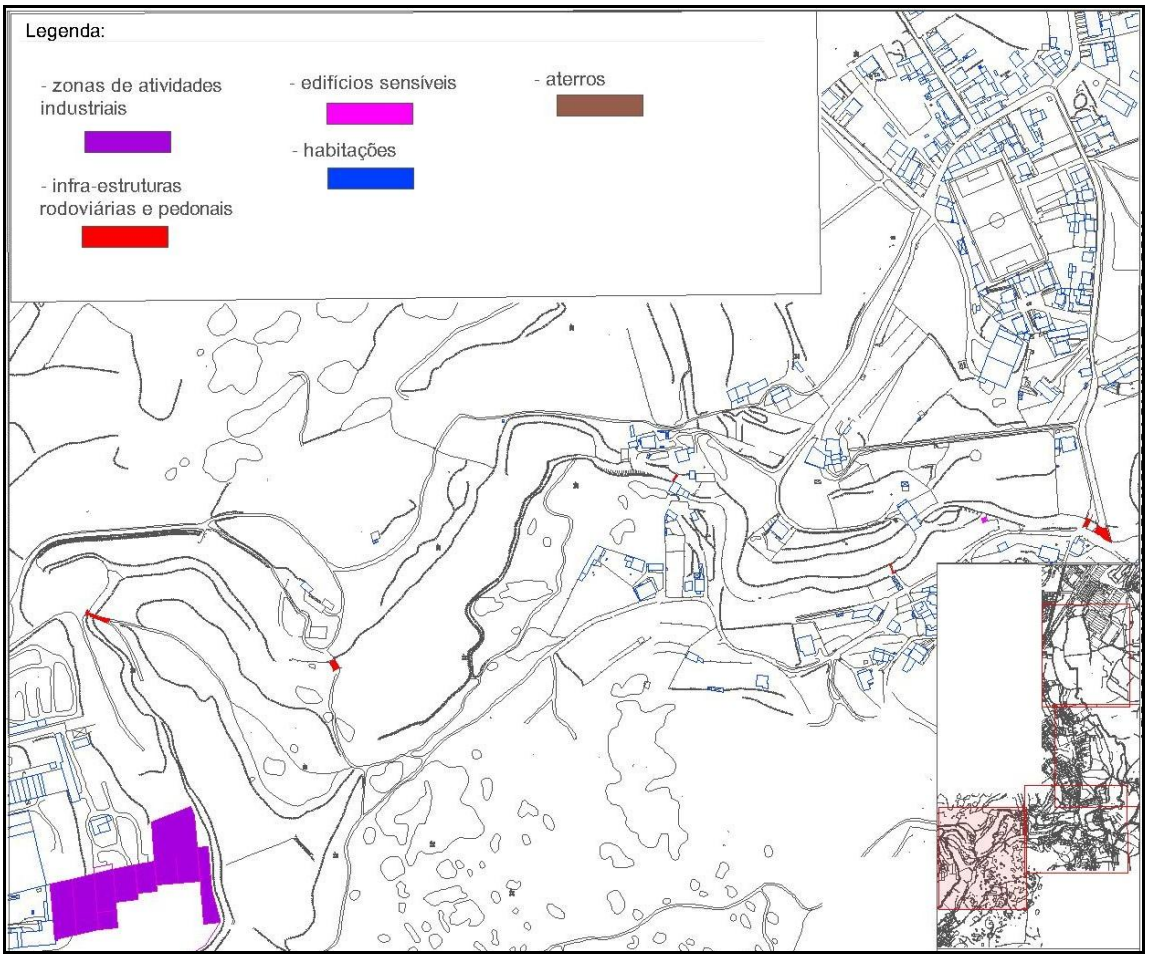


Fig. 30 - Cartografia com a representação de elementos expostos, representação do quarto tramo

O Decreto-lei especifica também que devem ser tidas em conta, as instalações referidas no anexo I do Decreto-lei nº 173/2008, de 26 de Agosto, que possam causar poluição acidental e as zonas protegidas identificadas nas subalíneas i), ii) e iv) da alínea jjj) do artigo 4º da Lei da Água, potencialmente afectadas.

Após uma pesquisa aos Decretos-lei anunciados em cima, verificou-se que na zona em estudo não existiam as zonas protegidas indicadas na Lei da Água. Contudo, as três unidades industriais indicadas anteriormente foram consideradas, pois correspondiam às instalações referidas no anexo I do Decreto-lei nº 173/2008, susceptíveis de causar poluição acidental.

Por último, a alínea f do Decreto-lei 115/2010 que considera a indicação sobre situações importantes para o estudo do risco como zonas onde possam ocorrer inundações que transportem um elevado volume de sedimentos e detritos ou outras fontes de poluição. Considerou-se importante a indicação dos aterros, localizados no troço montante do rio em estudo. Devido talvez à sua localização e abandono por parte da autarquia verificam-se aterros com enormes quantidades de terra, nalguns casos com deposição de lixo.

5.10. ANTECEDENTES SOBRE INUNDAÇÕES NA ZONA EM ESTUDO

De acordo, com relatos da população residente no troço de estudo, da equipa de topografia da Câmara Municipal de Braga e do Comandante dos Bombeiros da Braga, a última grande cheia ocorrida na zona de estudo ocorreu em 29 de Outubro de 2011. Deste evento meteorológico, resultaram vários danos prejudiciais, tais como:

- A inundação de uma habitação, em que o nível de água, alcançou a cota de 145.36 m, na zona correspondente ao perfil 3217.012 m;
- A inundação de uma fábrica, em que o nível de água alcançou a cota de 144.74 m, na zona correspondente ao perfil 3136.77 m;
- A morte de uma pessoa devido à destruição de um muro por causa da gravidade da inundação, na zona localizada entre o perfil 1890.062 m e o perfil 1918.39 m.

Estes foram os únicos registos de marca de cheia, não existindo registos ou marcas devidas à ocorrência de outras cheias, mesmo nos registos dos bombeiros.

6

APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

6.1. APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Com a elaboração deste trabalho e através da metodologia utilizada foi possível a elaboração de cartas de zonas inundáveis e de cartas de riscos de inundação para o caso em estudo. Para a construção de tais cartas foi necessário o auxílio de *software* apropriado (HEC-RAS e SIG) para inferir quais as zonas mais propícias a fenómenos de inundação.

Começou-se por analisar a zona em estudo através da delimitação da bacia, para se obter a área total da bacia que contribui para o escoamento para o rio. Seguiu-se uma visita "in situ" ao troço do rio juntamente com a equipa de topografia da Câmara Municipal de Braga o que permitiu obter um conhecimento mais aprofundado das caraterísticas topográfica e o tipo de ocupação e uso do solo, assim como afinar em conjunto com a equipa de topografia a melhor localização dos perfis transversais.

A obtenção dos perfis transversais, das condições de controlo do escoamento e a caraterização hidrológica do caso em estudo foram essenciais para o início da modelação hidráulica. Contudo, houve problemas iniciais com a definição dos perfis transversais, devido ao facto de alguns dos perfis adotados não terem largura suficiente para representar a amplitude da inundação (Fig. 28).

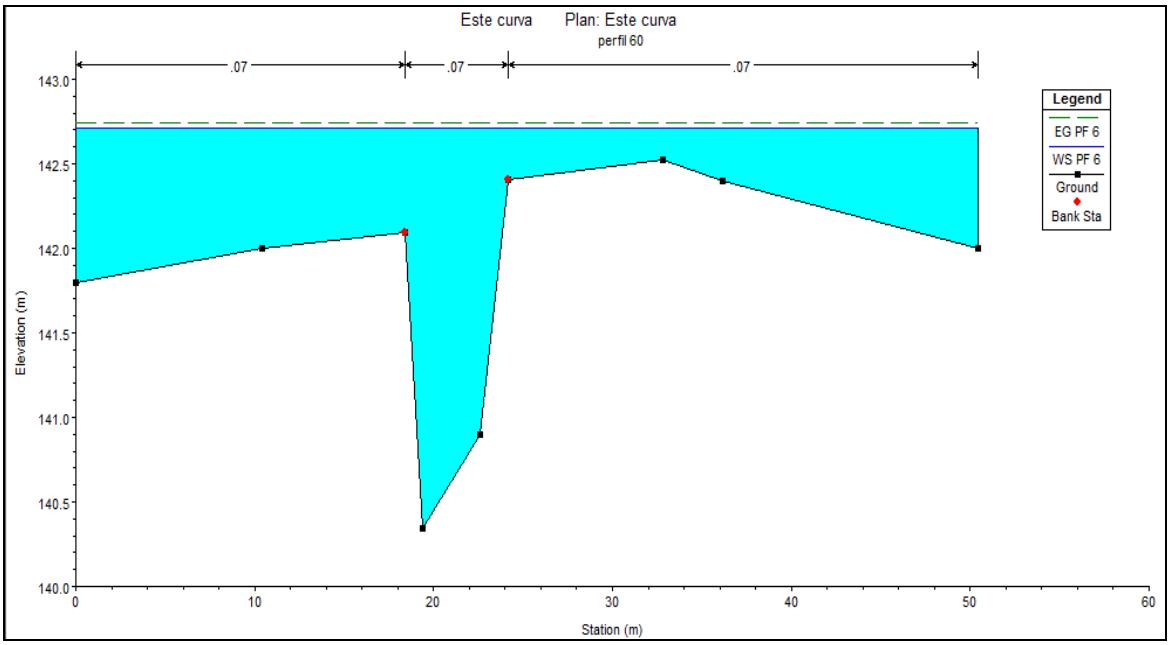


Fig. 31 – Representação de um perfil transversal de zona inundada, no troço em estudo, obtida através do HEC-RAS

Assim, como se pode verificar no exemplo da Fig. 31, nos perfis onde a largura não era suficiente para representar a amplitude de inundação, por defeito, o programa criava nos extremos do perfil umas paredes verticais fictícias, facto que falseava os resultados. Portanto, nalguns perfis transversais houve a necessidade de aumentar a largura. Para tal, com base na cartografia digital disponibilizada pelo departamento de topografia da Câmara Municipal de Braga, foram acrescentados alguns pontos aos perfis.

No anexo A2 está representado o perfil longitudinal do escoamento com indicação da linha de superfície livre do escoamento (curva de regolfo) para os tempos de retorno da 10, 100 e 500 anos (WS PF 10 anos, WS PF 100 anos e WS PF 500 anos, respetivamente).

No anexo A3, apresentam-se os perfis transversais do rio adotados, com indicação do nível da superfície livre, altura crítica e linha de energia para os cenários considerados (10, 100 e 500 anos).

Outra dificuldade na representação dos dados no HEC-RAS foi a obtenção correta do traçado do rio. Isto é, inicialmente e como simplificação, considerou-se que o rio era rectilíneo; a suposta introdução das curvas era feita através da introdução das distâncias dos pontos extremos e do ponto mais baixo dos perfis transversais, entre perfis consecutivos. Porém, como o traçado em planta do rio é bastante sinuoso, os resultados obtidos não reproduziam a realidade. Assim, foi necessário a introdução de elementos de base como a linha do talvegue, as margens, o sentido do escoamento e as seções transversais, através da extensão HEC-GEORAS já referido anteriormente em 5.6.

A Tabela 9 apresenta os valores das condições de escoamento exemplificados para 1 secção, indicando a inclinação e altura da linha de energia, a velocidade no canal, nas margens e a média na secção, a altura crítica, o caudal escoado, a altura do nível da água, a largura da superfície livre, n de Manning, a área inundada, e o perímetro inundado. Contudo, no anexo A4, só vêm representadas algumas das caraterísticas de cada um dos perfis, sem especificar as margens e o canal.

Tabela 9 – Tabela com os valores das condições de escoamento verificadas para o perfil 60

E.G. Elev (m)	145.37	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.01	Wt. n-Val.	0.050	0.040	0.050
W.S. Elev (m)	145.36	Reach Len. (m)	1.50	1.50	1.50
Crit W.S. (m)	144.80	Flow Area (m^2)	20.14	2.48	5.87
E.G. Slope (m/m)	0.000606	Area (m^2)	20.14	2.48	5.87
Q Total (m^3/s)	9.53	Flow (m^3/s)	6.93	1.17	1.42
Top Width (m)	50.47	Top Width (m)	32.10	1.44	16.93
Vel Total (m/s)	0.33	Avg. Vel. (m/s)	0.34	0.47	0.24
Max Chl Dpth (m)	1.73	Hydr. Depth (m)	0.63	1.72	0.35
Conv. Total (m^3/s)	387.1	Conv. (m^3/s)	281.6	47.7	57.8
Length Wtd. (m)	1.50	Wetted Per. (m)	34.44	3.68	16.95
Min Ch El (m)	143.63	Shear (N/m^2)	3.48	4.01	2.06
Alpha	1.10	Stream Power (N/m s)	4028.45	0.00	0.00
Frctn Loss (m)	0.00	Cum Volume (1000 m^3)	5.11	34.95	15.68
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m^2)	17.71	28.72	42.46

Conforme já referido no capítulo 5, os estudos hidrológicos relativos ao troço em estudo foram outra das dificuldades encontradas no presente trabalho, devido nomeadamente à falta de registos de caudais. Tal é especificamente referenciado em 5.7, onde se descrevem as dificuldades com os estudos hidrológicos e como foram superadas.

Portanto, devido a certas singularidades do sistema fluvial, os principais desafios estavam associados à adaptação, calibração e validação do modelo matemático para simular o regime hidráulico do troço do rio Este em estudo.

Como também já referido também no capítulo 5, não foi possível utilizar as cotas de cheia de 29 de outubro de 2011 para calibrar o modelo, pois não havia registos de caudais ou de precipitações nesse período, e para o período onde existia registos não havia registos de cota de cheia. No entanto, aquando da elaboração dos mapas de zonas inundáveis apurou-se que a amplitude de inundação atingia as correspondentes cotas de cheia, facto que se mostrou fundamental para uma apreciação favorável dos resultados obtidos.

A exportação dos resultados obtidos na modelação hidrológica para a ferramenta de geoprocessamento SIG e a sobreposição destes com o modelo digital do terreno permitiu então a elaboração dos mapas de zonas inundáveis. Assim, no anexo A5, apresenta-se a delimitação das áreas inundadas para as cheias simuladas para tempos de retorno de 10, 100 e 500 anos, através das cartas de zonas inundáveis da área em estudo.

Relativamente aos mapas de zonas inundáveis apresentados 3.3.2, na realidade só foi possível elaborar o mapa de amplitude de inundação. O mapa de profundidade de águas (cotadas topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) não foi elaborado, pois como na cartografia digital não existiam cotas no leito do rio, o modelo digital do terreno não conseguia representar o leito de forma continua; houve portanto, necessidade de fazer um rebaixamento no MDT no local da linha do talvegue para o representar. Deste modo, apesar da amplitude de inundação calculada ser a correta, os resultados para a profundidade de águas (cotado topograficamente em relação ao nível médio da superfície das águas) não poderiam ser representados sem desvirtuar a realidade de forma grosseira e falseando os resultados.

Com a apresentação das cartas de inundação é possível então verificar e classificar as zonas de vulnerabilidade em elevada, moderada ou baixa de acordo com os tempos de retorno adotados na metodologia, respetivamente, 10, 100 e 500 anos.

A construção das cartas de vulnerabilidade é fundamental para posteriormente se fazerem as cartas de risco de inundações. As cartas de vulnerabilidade como já se referiu são executadas através da sobreposição dos mapas de zonas de inundação com os mapas de elementos em risco.

Os mapas de elementos em risco, conhecidos também como elementos expostos são constituídos por edificado e estruturas existentes na área de estudo e foram elaborados de acordo com o artigo 8º do Decreto-lei 115/2007.

As cartas de risco de inundação apresentam-se então no anexo A6, indicando os cenários correspondentes aos períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos e classificado o risco de acordo com a matriz de risco adotada no presente trabalho. A classificação do risco é então indicada através de cores consistindo em risco baixo (a verde), risco moderado (a amarelo) e risco moderado (a laranja) e risco extremo (a vermelho), de acordo com a probabilidade de ocorrência do evento e da vulnerabilidade do elemento em análise.

6.2. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA AS CARTAS DE ZONAS INUNDÁVEIS

A elaboração dos mapas de inundação foi realizada recorrendo ao modelo digital do terreno produzido a partir da cartografia digital disponibilizada, tendo por base os resultados dos níveis obtidos por simulação hidráulica nas diferentes secções de cálculo, para os três períodos de retorno considerados (10, 100 e 500 anos).

Apesar da restrição com os dados para calibrar o modelo devido às marcas de cheia datarem de 29 de outubro de 2011, foi possível verificar-se que nos locais onde tais foram indicadas, estas foram atingidas pela inundação, tal pode ver-se nos mapas de zonas inundáveis. Assim, na Fig. 32 é possível verificar que as marcas de cheia registadas no local pelos topógrafos da Câmara Municipal de Braga, são atingidas para inundações com período de retorno de 10 anos de acordo com o modelo utilizado.

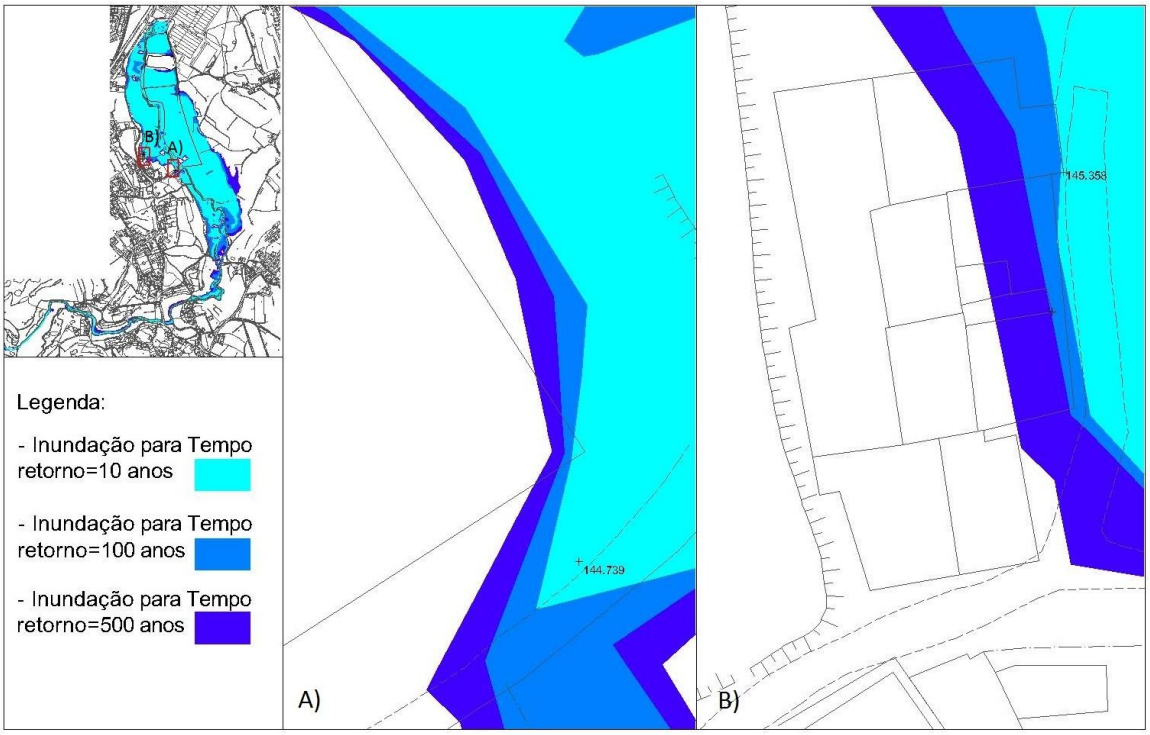


Fig. 32 – Localização das zonas onde foi possível identificar marcas de cheia: A) Indústria, B) Habitação.

Também devido à inundação de 29 de outubro de 2011 e de acordo com os relatos da população, a gravidade da inundação foi de tal ordem que provocou a morte de uma pessoa que estava a caminhar na rua junto às duas pontes assinaladas na Fig. 33 quando foi arrastada pela inundação.

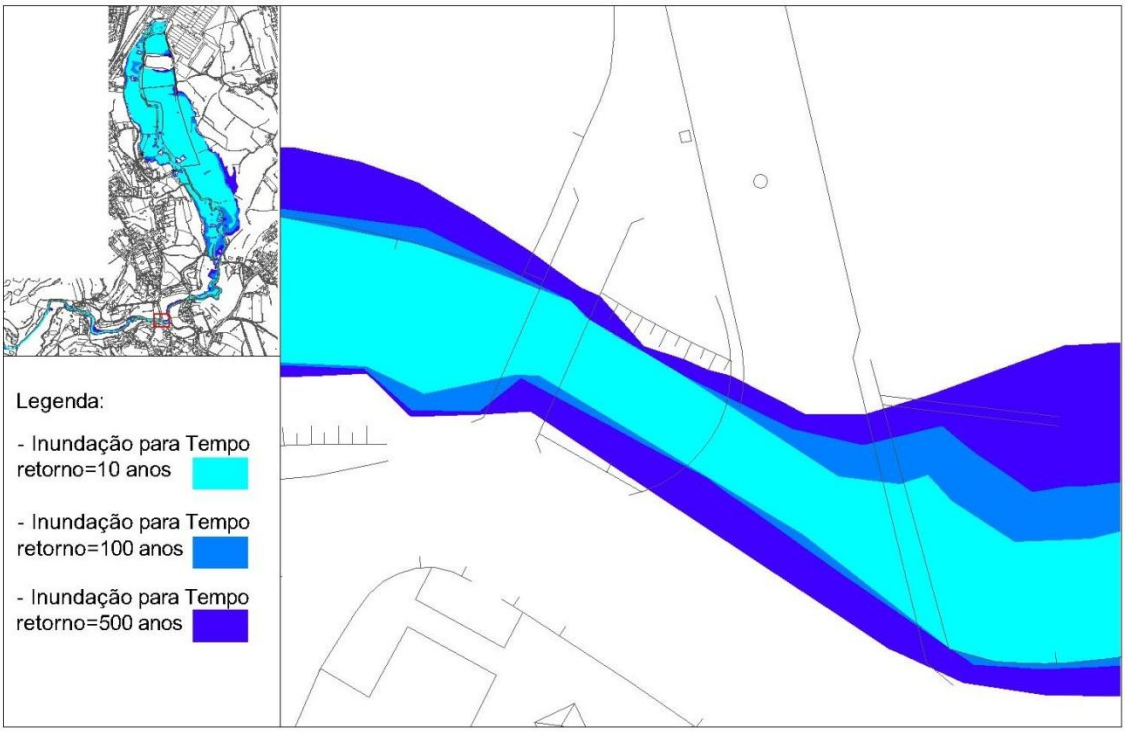


Fig. 33 – Representação das duas pontes atingidas pela cheia de 29 de outubro de 2011

Como referido em 5.5, o modelo digital do terreno foi realizado com base na cartografia cedida pela Câmara Municipal de Braga que data de 1992. Como alguma da informação contida nesta cartografia está desatualizada, algumas das zonas onde se verificou necessário (e onde se conseguiu aceder) fez-se o levantamento topográfico. Na Fig. 34, é possível observar um aterro que não estava representado na cartografia cedida, mas que foi possível inserir no modelo digital do terreno.

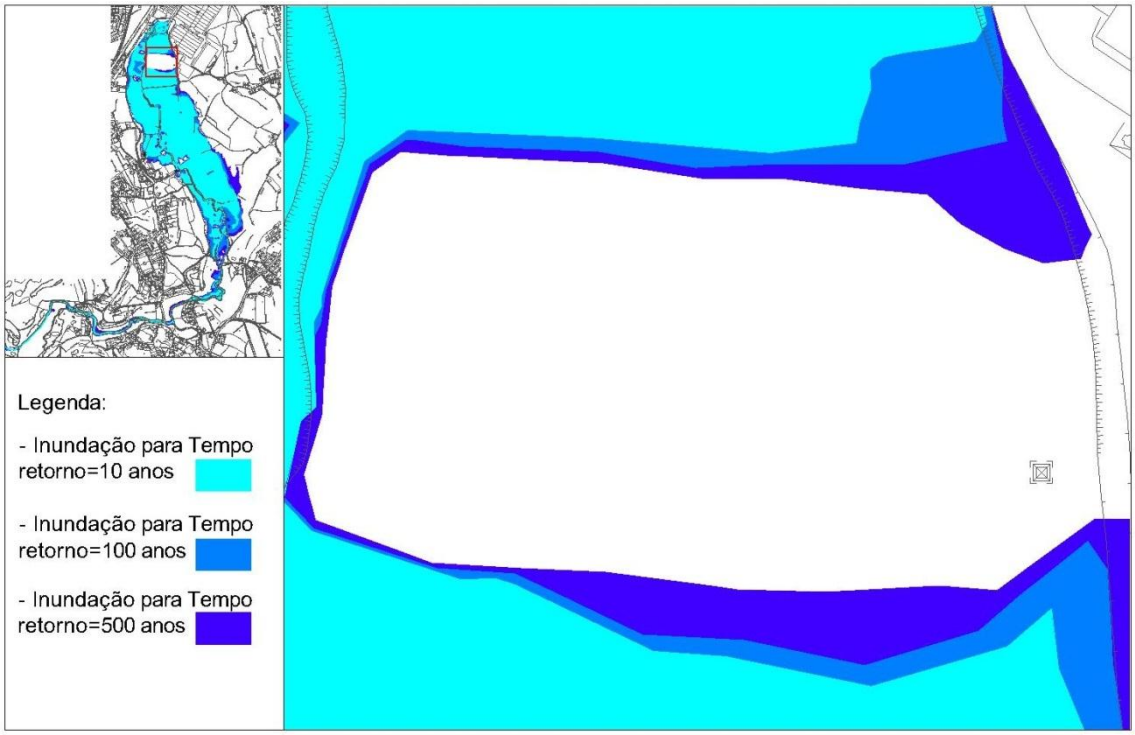


Fig. 34 – Representação de aterro conseguido através de levantamento topográfico

Com o levantamento dos perfis transversais e sua posterior utilização no modelo hidráulico, verificou-se que a sobreposição dos resultados obtidos neste com o MDT resultava em informação altimétrica incompatível. Como tal, nalguns locais onde foram levantados os perfis transversais (levantamentos recentes) e onde os terrenos sofreram alterações topográficas depois de 1992, verificou-se a presença de elevações topográficas (Fig. 35). Estas encontram-se essencialmente nas zonas onde se localizam os aterros e não condicionam a validade dos resultados analisados para o resto do troço. Posteriormente, e para simplificação dos resultados, estas elevações topográficas foram ignoradas na realização das cartas de zonas inundáveis e nas cartas de risco de inundação.

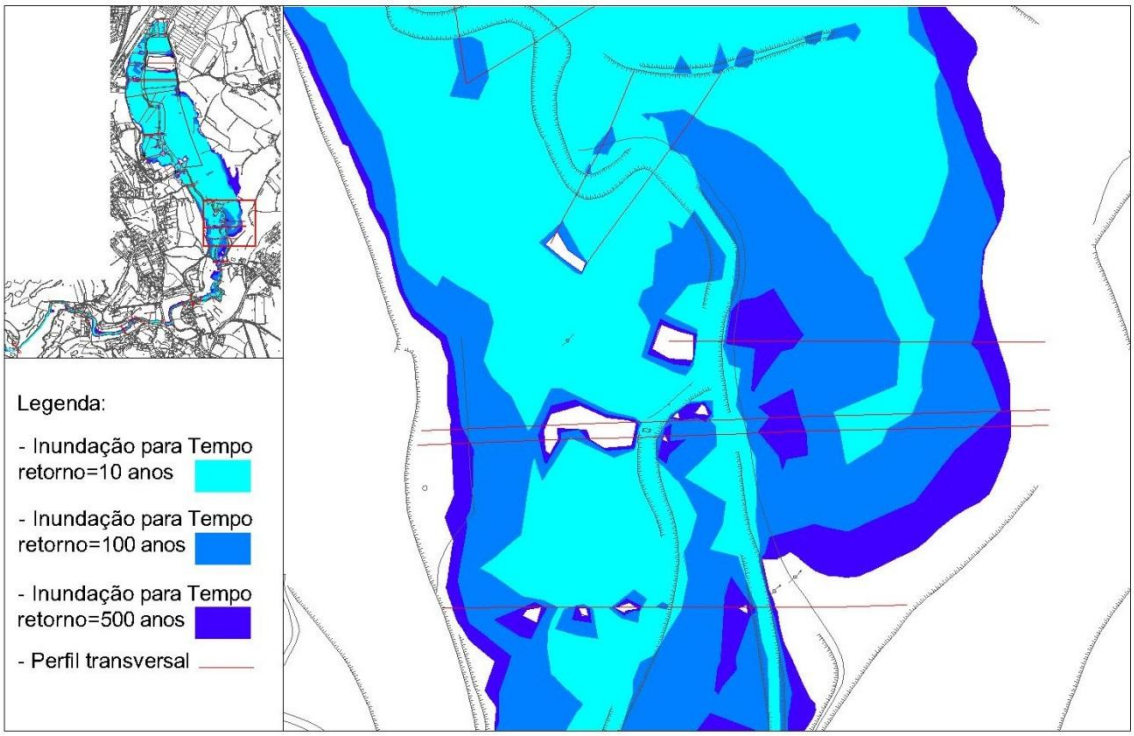


Fig. 35 – Representação de elevações topográficas no cruzamento dos resultados importados do Hec-Ras com os resultados do MDT

6.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS CARTAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO

Conforme o Decreto-lei 115/2010 relativo à avaliação, gestão e mitigação dos efeitos das inundações, apresentam-se de seguida os resultados obtidos para a realização das cartas de risco de inundação para o troço em estudo. São apresentados os elementos expostos considerados necessários para a realização destes mapas, assim como a análise qualitativa indicando o tipo de risco. A listagem de elementos expostos vai seguir a sequência apresentada no ponto 1 do artigo 8º do Decreto-lei citado em cima.

6.3.1. NÚMERO INDICATIVO DE HABITANTES POTENCIALMENTE AFETADOS

Para a análise do número de habitantes potencialmente afetados considerou-se por simplificação a localização das construções habitacionais. Como tal, os resultados obtidos não se expressam em termos de número de habitantes, mas sim em número de habitações. Analisando então o número de habitações potencialmente afetadas por algum dos três cenários de inundação (10, 100 e 500 anos), verifica-se que são duas as habitações afetadas.

Na Fig. 36, é possível ver uma das habitações potencialmente afetada pela inundação, que como se pode ver é atingida nos três cenários de probabilidade de ocorrência.

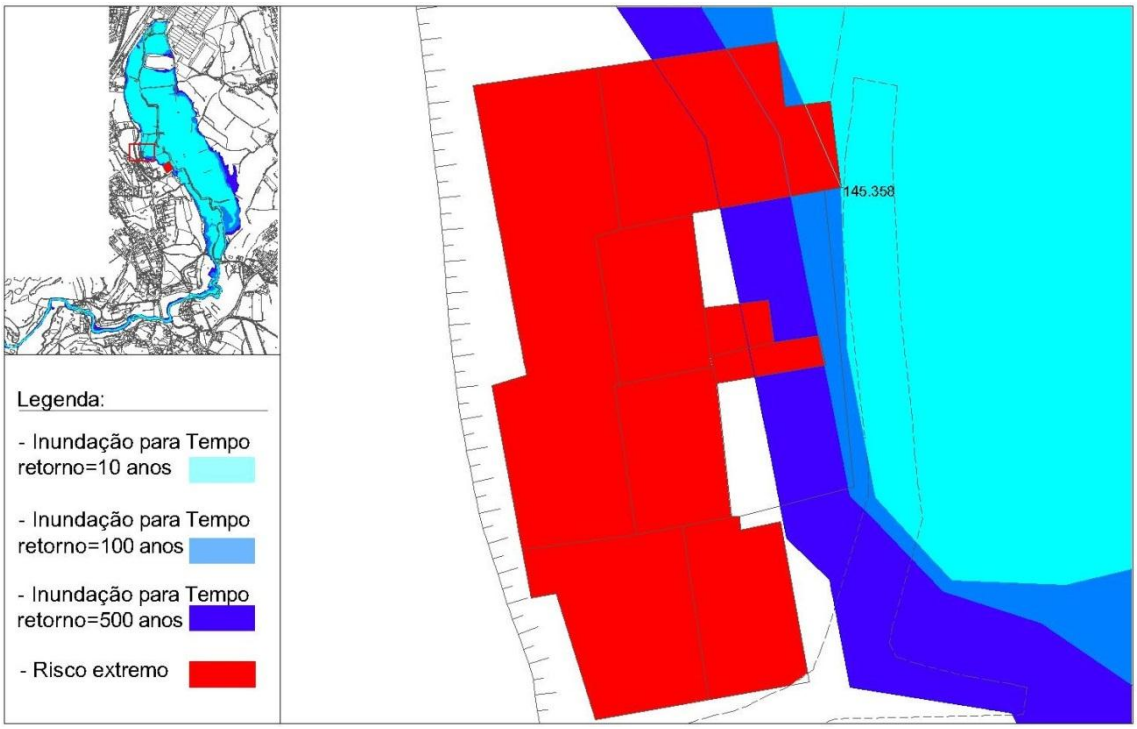


Fig. 36 - Habitação classificada como risco extremo

A habitação é classificada como sendo uma construção antiga e sem proteções contra cheias, logo a sua vulnerabilidade é elevada. Cruzando a probabilidade elevada de ocorrência da inundação com a vulnerabilidade elevada, e analisando a matriz de risco utilizada (Fig. 37), resulta uma classificação para a habitação de risco extremo Fig. 36.

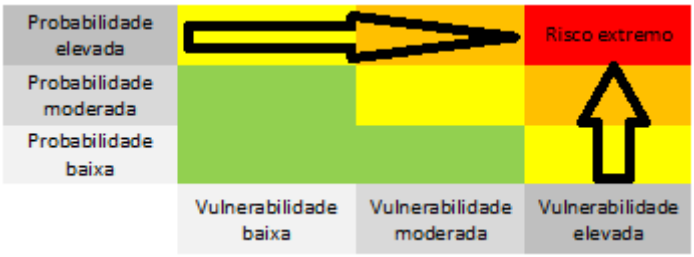


Fig. 37 – Representação da matriz de risco para classificar a habitação da Fig. 3

A outra habitação afetada pela inundação (Fig. 38) apesar de ser classificada a nível de vulnerabilidade como elevada pois tal como a primeira também esta corresponde a uma construção antiga e sem proteções contra cheias, como se encontra localizada numa zona com probabilidade de ocorrência de inundação baixa, a nível de risco e utilizando a matriz de risco resulta uma classificação de risco moderado.

As construções relativas a habitações abandonadas, azenhas e moinhos inativos considerados potencialmente afetados pelas cheias foram classificados como de risco baixo, pelo facto de não afetarem diretamente os habitantes. Ao longo de todo o troço verificam-se 7 construções deste tipo.

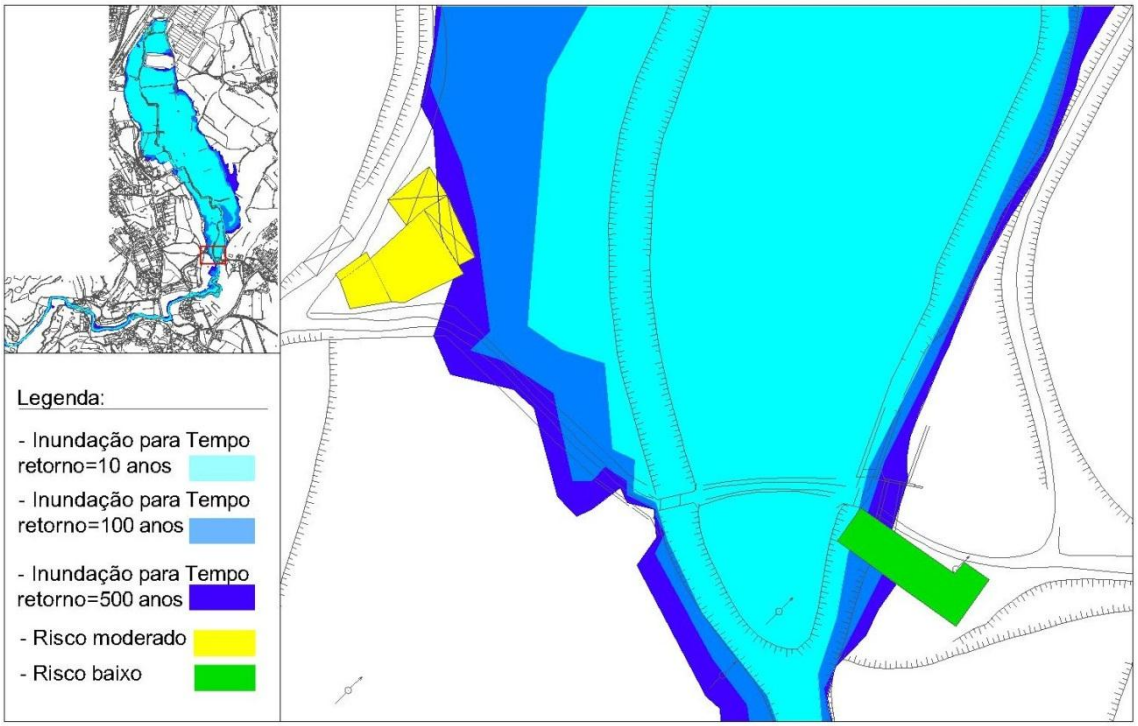


Fig. 38 - Habitação classificada como risco moderado e moinho classificado como baixo risco

6.3.2. EDIFÍCIOS SENSÍVEIS

Numa análise ao caso de estudo, pode referenciar-se em 5.9 a presença de dois edifícios sensíveis, mais concretamente, duas estações elevatórias de águas residuais do sistema cidade. Destas duas, apenas uma delas é que se localiza numa zona em que pode ser afetada pela ocorrência de uma inundação (Fig. 39). A outra estação elevatória de águas residuais, apesar de se encontrar muito perto do rio, não tende a sofrer danos por inundação pois encontra-se a uma cota elevada.

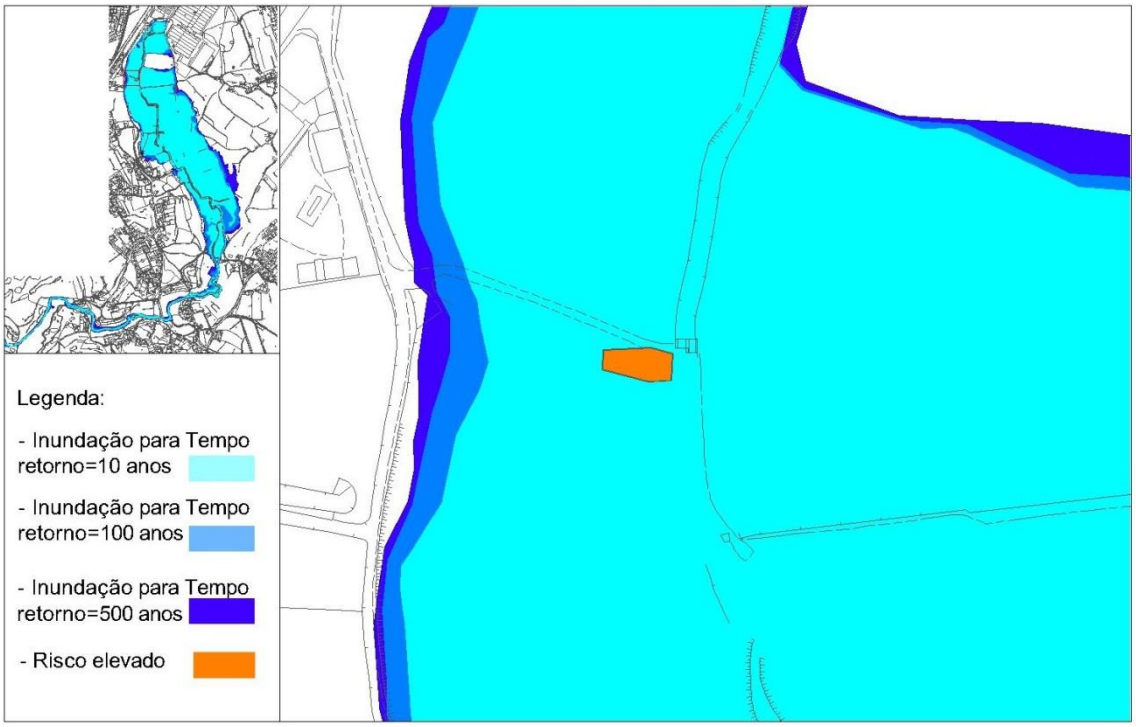


Fig. 39 - Estação elevatória de águas residuais classificada como sendo de risco elevado

6.3.3. TIPO DE ATIVIDADE ECONÓMICA DA ZONA POTENCIALMENTE AFETADA

De acordo com o Decreto-lei 115/2010 e a análise realizada em 5.9, pode observar-se que das três unidades industriais presentes no troço de estudo, apenas duas podem sofrer danos económicos. Na Fig. 40, encontra-se a representação da unidade industrial que se encontra numa zona onde a probabilidade de inundação corresponde a um período de retorno de 10 anos, por se tratar de uma construção antiga sem proteção contra cheias o grau de vulnerabilidade é elevado, logo a classificação carateriza-se por ser de extremo risco. Neste caso em particular, as cartas de risco de inundação ajudaram a confirmar o que a população já tinha descrito sobre aquela zona, isto é, que a fábrica em especifico era normalmente afetada quando ocorriam inundações.

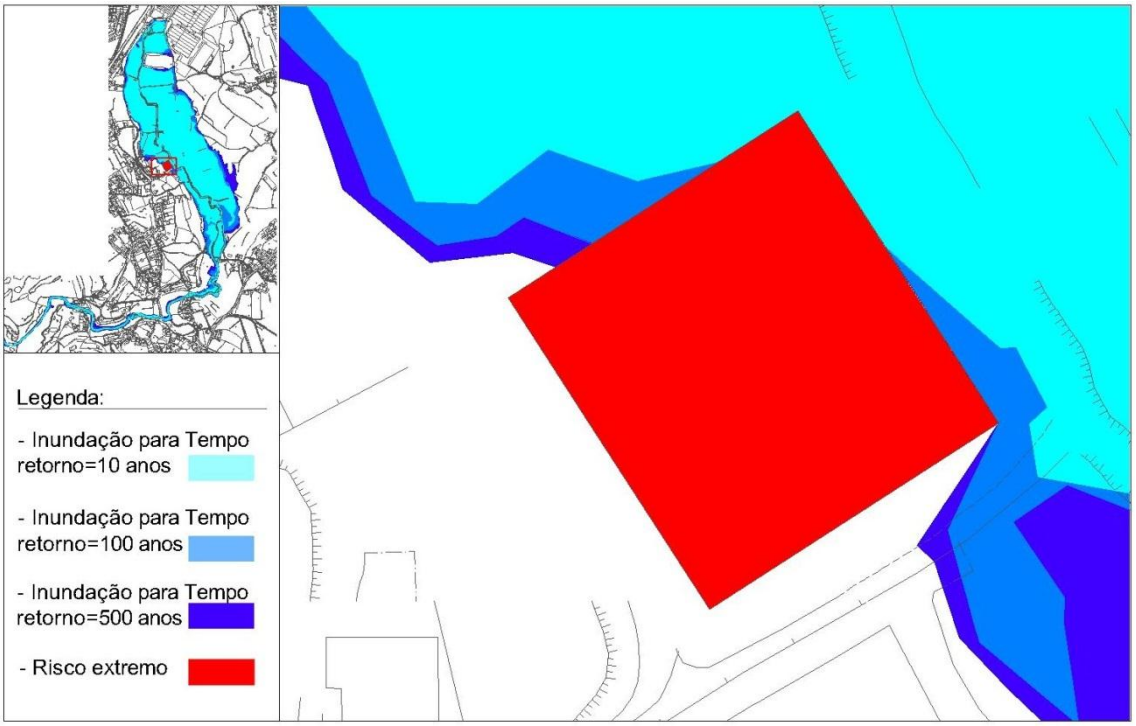


Fig. 40 - Localização de actividade industrial potencialmente afectada pela inundação

Tal como explicado em 5.9, o único serviço considerado no trabalho, é do tipo de infraestrutura rodoviária. Como já referido anteriormente, foi na chegada a esta ponte que, devido à força de escoamento um homem foi arrastado, provocando a sua morte. A causa deste desastre pode não ter sido apenas a inundação fluvial, mas sim a conjugação deste com o escoamento direto da precipitação devido à impermeabilização dos terrenos.

Com isto, considerou-se que a probabilidade de ocorrência de inundação nesta zona seria classificada como moderada e que a vulnerabilidade da ponte também seria classificada como moderada, pois, apesar da estrutura se encontrar em bom estado, encontra-se também com problemas de assoreamento. Verifica-se então que o risco (utilizando a matriz de risco) para esta infraestrutura resulta numa classificação de grau moderado (Fig. 41).

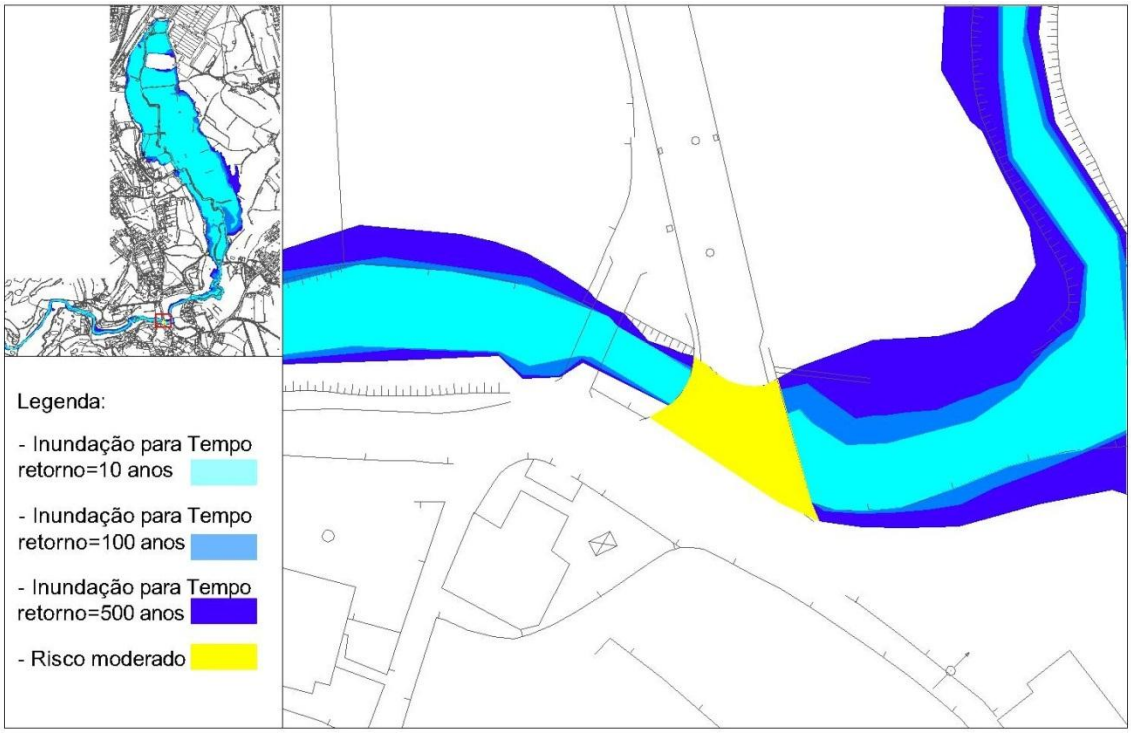


Figura 41 – representação da infraestrura rodoviária considerada fundamental

6.3.4. INSTALAÇÕES QUE POSSAM CAUSAR POLUIÇÃO ACIDENTAL EM CASO DE INUNDAÇÃO E ZONAS PROTEGIDAS POTENCIALMENTE AFETADAS

Identificou-se a presença de duas instalações industriais, das três identificadas em 5.9, que poderão vir a causar poluição acidental no caso de serem afetadas por uma inundação, a unidade industrial situada mais a montante não se apresentou como estando exposta à inundação para nenhum dos períodos de tempo estudados (10, 100 e 500 anos).

Uma das unidades industriais expostas pode ser potencialmente afetada pela inundação para um tempo de retorno de 10 anos (probabilidade elevada), e carateriza-se por exercer atividades como produção e transformação de metais (de acordo com anexo I do Decreto-lei nº 173/2008). Esta instalação industrial (representada também na Fig. 40) corresponde a uma construção antiga sem proteção contra cheias e como também se pode verificar na Fig. 39 deposita materiais ao lado da instalação sem os proteger das cheias, portanto a classificação da vulnerabilidade considerada neste caso foi de grau elevado. Logo, cruzando a probabilidade elevada de ocorrência de inundação com a vulnerabilidade elevada considerada, também neste caso, assim como o analisado em 6.3.3, esta unidade industrial é avaliada como sendo de risco extremo.



Fig. 42 – Fotografia de uma unidade industrial, onde se pode verificar o depósito de materiais junto à instalação

Para outra unidade localizada mais a jusante do troço de estudo a sua probabilidade de ocorrência de inundação é baixa, e em termos de vulnerabilidade pode ser classificada como de grau elevado, pois também não contém proteções contra cheias. Utilizando a matriz de risco nesta unidade industrial o resultado é um grau de risco moderado (Fig. 43).

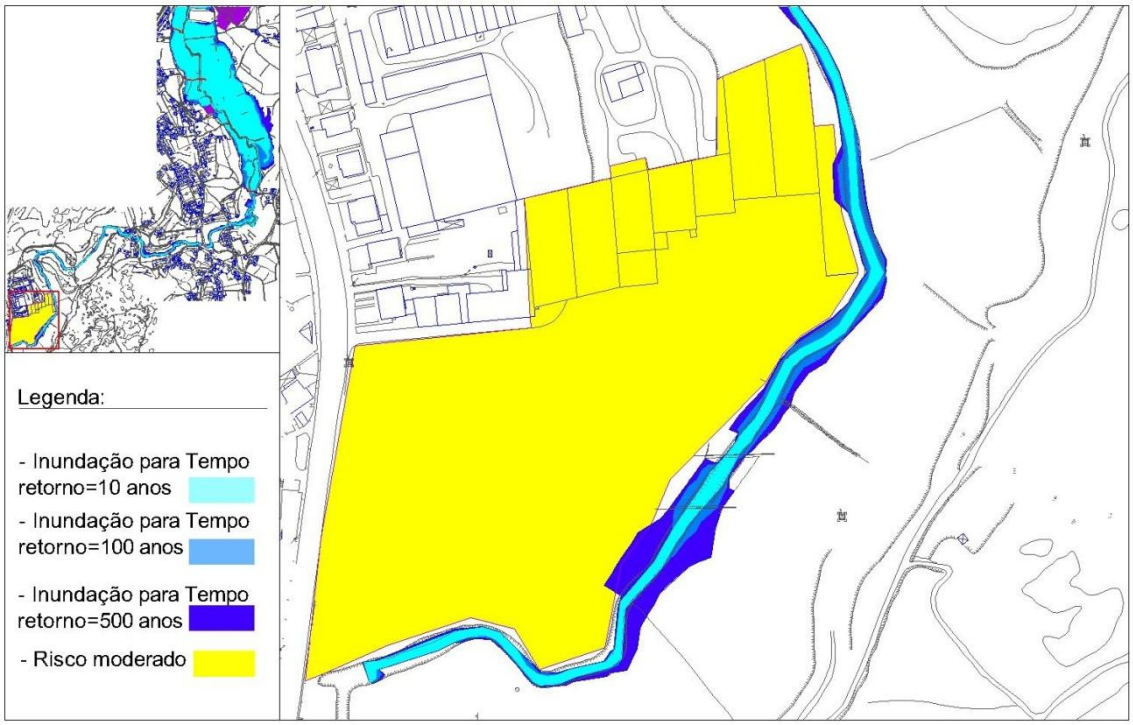


Fig. 43 – Instalação exposta à inundação com instalações de produção e transformação de metais

6.3.5. Estabelecimentos abrangidos pelo Decreto-Lei nº 254/2007, de 12 de Julho, que estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para o Homem e o ambiente

Não foram identificados qualquer tipo de estabelecimentos abrangidos por este Decreto-lei.

6.3.6. Outras informações que a ARH ou a CNGRI considerem úteis, como a indicação das zonas onde podem ocorrer inundações que transportem um elevado volume de sedimentos e detritos, e informações sobre outras fontes importantes de poluição

Esta alínea do artigo 8º do Decreto-lei 115/2010 considera a indicação de situações importantes para o estudo do risco como zonas onde possam ocorrer inundações que transportem um elevado volume de sedimentos e detritos ou outras fontes de poluição.

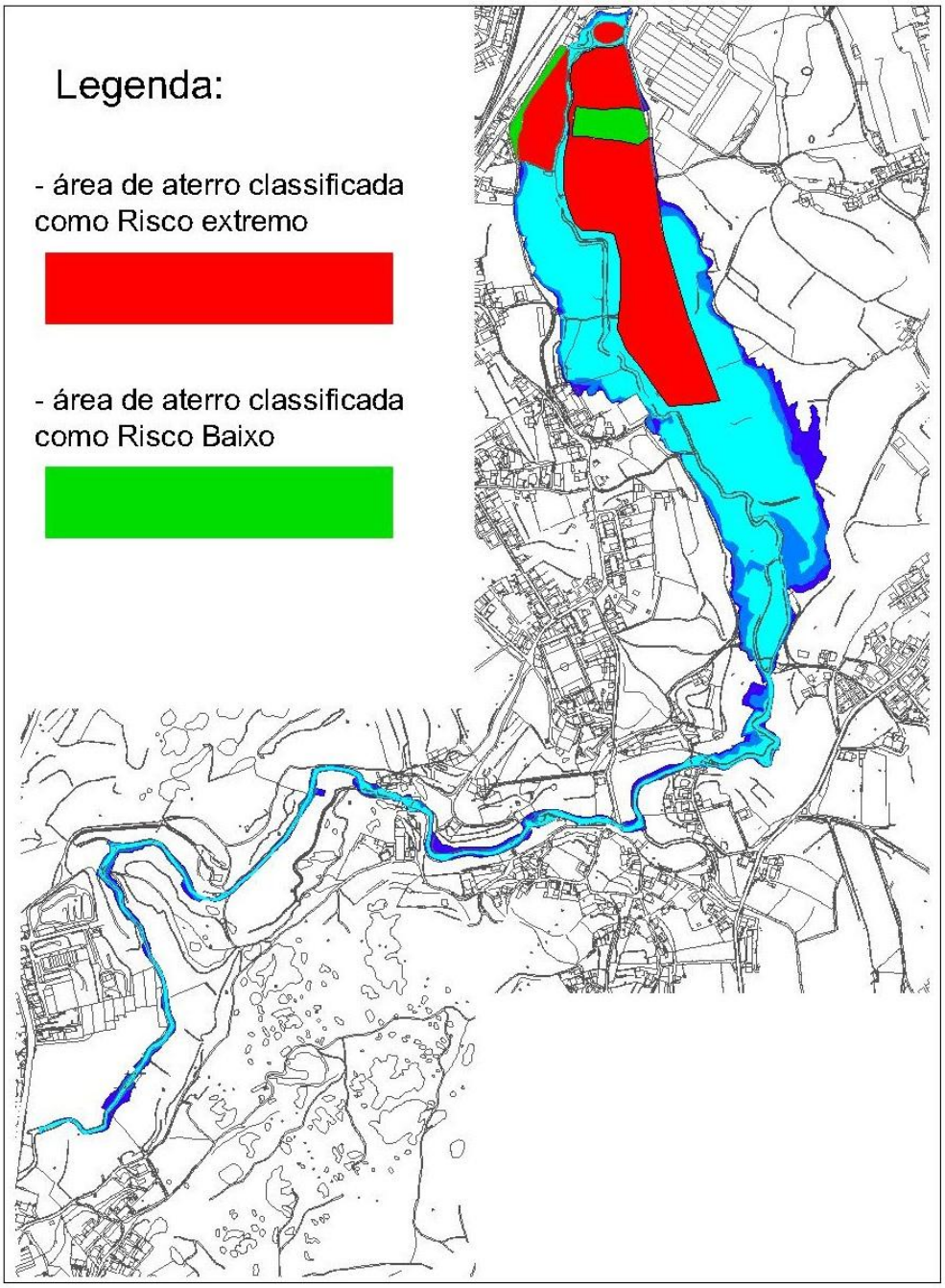


Fig. 44 - Classificação do risco de inundação para as zonas de aterro

Assim para a análise do caso de estudo a classificação de vulnerabilidade recaiu apenas na existência de aterros (como também se tinha referido em 5.9), considerando que onde se verificasse a presença de aterros e onde houvesse probabilidade de ocorrência de inundação o grau de risco considerado seria o extremo pois, os aterros em questão são todos relativamente recentes e não foram sujeitos a nenhum processo de compactação. Como se localizam junto ao rio, estão suscetíveis a processos de desgaste e erosão, para além do facto de nalgumas zonas do aterro se verificarem depósitos de lixo. A vulnerabilidade do aterro foi determinada através da realização de uma visita "*in situ*" ao local em estudo onde se verificou o estado dos aterros. Na Fig. 44, é possível identificar as zonas onde existem aterros e são afetadas pela inundação (zonas a vermelho) e as zonas que apesar de ter aterros, como a probabilidade de ocorrência de inundação daquela zona é nula, foram consideradas de baixo risco.

7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1. CONCLUSÕES

Os prejuízos resultantes das inundações podem ser elevados, principalmente quando estas ocorrem em zonas ocupadas pela população podendo conduzir a perda de vidas humanas e bens, assim como resultar num impacte extremamente negativo para as atividades socioeconómicas das regiões afetadas. A prevenção e mitigação do efeito das cheias são por isso de extrema importância. Como tal, o mapeamento das áreas de risco de inundação é uma importante ferramenta de suporte à decisão no controle de inundações.

A Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de outubro de 2007 e correspondente transposição para a legislação nacional (Decreto-lei 115/2010) relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, indica a obrigatoriedade da elaboração de cartas de zonas inundáveis e cartas de risco de inundações, assim como de planos de gestão dos riscos de inundações.

Procurou-se neste trabalho estabelecer uma metodologia para a construção de mapas de risco de inundação indicando, para tal, as principais etapas a percorrer para a sua realização. Para a aplicação e validação da metodologia sugerida fez-se o estudo de um caso, correspondente a um troço do rio Este em Braga.

Com a realização deste trabalho foi possível concluir que as inundações fluviais de caráter natural não são originadas por um único fator mas sim por um conjunto de condições que associadas despoletam a sua ocorrência. Enquanto certos fatores são essenciais para a ocorrência da inundação, outros são apenas catalisadores do processo.

O factor essencial para a ocorrência de inundação fluvial de causa natural é o acontecimento meteorológico. Ainda que muitos outros fatores se verifiquem, se não se verificar a ocorrência de precipitação, não se verifica a ocorrência de inundação. Os fatores catalisadores do processo são determinados pelas características da bacia e por fatores antrópicos que condicionam e agravam estes fenómenos.

Para a realização das cartas de risco de inundação estabeleceu-se então uma metodologia que se caracteriza pela realização das seguintes etapas: caraterização topográfica da bacia hidrográfica; estudos hidrológicos; modelação hidráulica; elaboração de mapas de zonas inundáveis; elaboração de mapas de vulnerabilidade; aplicação da matriz de risco; finalizando com a elaboração de mapas de risco de inundação.

Como tal, a fiabilidade das modelações hidráulicas de situações de escoamento associadas a cheias para cada um dos tempos de retorno estudados, está muito dependente da pormenorização topográfica e dos registos hidrológicos disponíveis assim como, dos pressupostos de base dos próprios modelos.

Com base na utilização do programa de cálculo HEC-RAS 4.1.0, e caraterizando o melhor possível o troço em estudo, apresentaram-se os resultados das simulações dos leitos de cheia para períodos de retorno de 10, 100 e 500 anos.

Portanto, para a definição dos níveis de inundação foi utilizado o programa HEC-RAS, no qual as linhas de regolfo (níveis) foram calculadas em regime permanente. Nesta fase ocorreram as maiores adversidades, tanto a nível das caraterísticas geométricas assim como na obtenção de caudais de cheia, através de estudos hidrológicos.

Os níveis de água foram inseridos no programa Arc-View, que foi selecionado para o efeito face à sua ampla difusão e ao fácil acesso ao mesmo. Outro ponto positivo do programa é a possibilidade de utilização da extensão HEC-GEORAS, que compatibiliza os dados provenientes do HEC-RAS com os dados georreferenciados do Arc-View. Esta compatibilização economiza bastante tempo na elaboração dos mapas, já que produz os polígonos de inundação automaticamente, a partir do modelo digital do terreno.

O facto de se ter adotado algumas simplificações na simulação do fenómeno hidráulico de cheia, leva a que os resultados devam ser encarados como valores aproximados do valor real. No entanto, a comparação dos valores de cotas de cheia obtidos com os valores testemunhados por habitantes locais permite validar o procedimento.

A realização das cartas de risco de inundação resulta da sobreposição das cartas de inundação com as cartas de elementos expostos, indicando de uma forma quantitativa a identificação das áreas de risco. Para a realização da análise qualitativa do risco é utilizada uma matriz de risco, que é caraterizada por cruzar a classificação da probabilidade de ocorrência de uma inundação com a classificação da vulnerabilidade dos elementos expostos.

Examinando as cartas de risco de inundação foi possível verificar que a área inundável, apesar de não englobar uma grande extensão de espaços residenciais ou de equipamentos evidencia algumas situações de exposição dos elementos que pode classificar-se como sendo de risco extremo.

Dos elementos expostos analisados e para os cenários estudados verificou-se que a inundação poderá afetar duas habitações, um edifício sensível (estação elevatória de águas residuais), uma ponte e duas unidades industriais. As duas unidades industriais podem sofrer danos económicos devido à sua exposição à inundação, assim como causar poluição acidental. Também os aterros presentes no caso de estudo são suscetíveis de causar poluição acidental.

As principais complicações para a aplicação da metodologia em estudo incidiram principalmente na realização dos perfis transversais, na leitura das cartas topográficas devido ao facto de não estarem atualizadas, assim como, a difícil obtenção de dados de precipitação e caudal para a bacia em estudo.

7.2. RECOMENDAÇÕES

É imprescindível fazer um esforço continuado na recolha de elementos, nomeadamente a atualização do levantamento topográfico digitalizado, a atualização de cadastros de infra-estruturas e edifícios que ocupam áreas inundáveis, tal como, uma caracterização socioeconómica das áreas mais vulneráveis que possibilite quantificar os danos e perdas.

Fica ainda o apelo para que as autoridades competentes instalem mais estações para obtenção de dados de precipitação e caudal, pois sem dados fiáveis ou mesmo na ausência de registos, torna-se muito difícil a elaboração de mapas que possam ser efetivamente utilizados como ferramentas para suporte a decisão.

Chama-se também à atenção para uma melhor coordenação entre as entidades competentes para a realização dos mapas, no sentido da promoção de uma maior harmonização nos termos adotados, assim como, na realização de estudos (como por exemplo, a determinação dos tempos de retorno, que se apuraram diferentes tanto em relação ao que descrito nos Decretos-lei, como à divergência de tempos de retorno adotados pelas diferentes entidades responsáveis por aplicar os mesmos Decretos-lei).

BIBLIOGRAFIA

Almeida, Betâmio, *Prevenção contra cheias naturais – Tendências e Estratégias no contexto de uma Gestão de Risco*, Congresso da Ordem dos Engenheiros, Açores, 2006

Almeida, Betâmio, *Prevenção contra inundações naturais na União Europeia. Conceitos-Chave no contexto de uma gestão de risco*", REGA – Revista de Gestão de Água da América, Latina, 2007

Azevedo, J., Situações de Riscos, Cheias e Inundações, Universidade do Minho, 2007

Barreiros, C., Costa, E., Pires, P., Guia para a Caracterização do Risco no Âmbito da Elaboração de Planos de Emergência. Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2009

Costa, P. C., As Cheias Rápidas de 1967 e 1983 na Região de Lisboa. In Livro de Homenagem a Mariano Feio, Lisboa, 1986.

Cunha, J. M. P. (Org.), Jakob, A. A. E., Young, A., Dinâmica Intrametropolitana na Região Metropolitana da Baixada Santista no Período Pós-1970. In Novas Metrópoles Paulistas: População, Vulnerabilidade e Segregação, 1ª edição, Editora da Unicamp, Campinas, 2006

Dauphiné, André, Risques et Catastrophes. Observer, Spatialiser, Comprendre, Gérer. Armand Colin, Coll. U, Paris, 2001

Decreto-Lei n.º46/94 de 22 de fevereiro

Decreto-Lei n.º172/2008 de 26 de agosto

Decreto-Lei n.º364/98 de 21 de novembro

Decreto-Lei n.º254/2007 de 12 de julho

Diretiva 2000/60/CE – Quadro de acção comunitária no domínio da politica da água, do Parlamento Europeu e do conselho de 23 de outubro de 2000

Diretiva 2007/60/CE – Avaliação e Gestão do Risco de Inundação, Parlamento Europeu e Conselho de 23 de Outubro de 2007

European Exchange Circle on Flood Mapping - EXCIMAP, Atlas of Flood Maps, Novembro 2007

European Exchange Circle on Flood Mapping - EXCIMAP, Handbook on good Practices for Flood Mapping in Europe, Novembro 2007

INAG, Instituto da Água, (2011) – Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Cávado, Ave e Leça

INAG, Instituto da Água, (2000) – Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Ave

ISDR, International Strategy for Disaster Reduction – United Nations documents related to disaster reduction 2000-2004: Advance copy. Geneva, UN. International Strategy for Disaster Reduction (ISDR). Secretariat, 2004

Jacinto, R., Cartas de Inundação e Risco de Cheias em Cenários de Alterações Climáticas, CC-IAM, 2011

Jacobs, Sheffield City Council Strategic Flood Risk assessment – SFRA –dezembro, 2006

Jonkman, S. N.: Loss of life estimation in flood risk assessment, Ph.D. thesis, Delft University, The Netherlands, 2007

Julião, R. P., F. Nery, J. L. Ribeiro, M. C. Branco, J. L. Zêzere, Guia Metodológico para Produção de Cartografia Municipal de Risco e para Criação de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de Base Municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, 2009

Kron, W., Flood Catastrophes: Causes – Losses – Prevention from an International Re-insurer's Viewpoint, Precautionary Flood Protection in Europe International Workshop, Fevereiro, Ecologic - Institute for International e European Environmental Policy, Bonn, 2003

Lei n.º 54/2005 – Estabelece a titularidade dos recursos hídricos, de 15 de novembro

Lei n.º 58/2005 – Lei da água, de 29 de dezembro de2005

Lencastre, A., Franco, F.M., Lições de Hidrologia, 2ª edição, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 1992

Lourenço, L., Nave, A., Pereira, N., Silva, M., Carvalho, A., Fialho, J., Recuperação de Paisagens de Socalcos e Prevenção de Riscos Naturais, Núcleo de Investigação Científica de Incêndios Florestais, Louçã, 2006

Maia, R., Apontamentos Teóricos, FEUP, Porto, 2012

Martins, J. A. L., Lourenço, L., Os riscos em protecção civil. Importância da análise de gestão de riscos para a prevenção, o socorro e… A reabilitação, Territorium, Coimbra, 2009

Merz, B., Thieken, A. H., Gocht, M., Flood Risk Mapping at the Local Scale: Concepts and Challenges, In Flood Risk Management in Europe, pp.231–251, Springer, 2007

Moel, H., Alphen, J., Aerts, H., Flood Maps in Europe – Methods, Availability and Use, Natural Hazards and Earth System Sciences, 2009

Muniche RE, Earthquake, flood, nuclear accident. In Topics Geo, Munich, 2011

Munteanu, Adrian – ISRA, The qualitative versus Quantitative Dilemma. Alexandru loan Cuza University, lasi, Roménia, 2007

Ojeda, A., Crecidas e Inundaciones como Riesgo Hidrológico un Planteamiento Didáctico. Universidad del País Vasco, Lurralde, 1997

PMEPCB, Plano Municipal de emergência da protecção civil de Barcelos, 2011

Plano Nacional da Água - PNA, Instituto Nacional da Água - INAG, 2001

Portela, M. M., Hydrologic Aspects Related to Flash Floods. The Portuguese Experience, Euroconference 2000: Flash Flods, 2000, IST, Lisboa

Ramos, C., Programa de Hidrogeografia - Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, 2005

Ramos, C., Cheias e Inundações: Factores de Desencadeamento e Agravantes e Medidas Mitigadoras, Ciclo de Debates Sistemas de Gestão Ambiental, Câmara Municipal de Loures, 2006

Ramsbottom, D., Floyd, P., Rowsell, E., Flood Risk to People – Phase 1, DEFRA – Flood Management Division, Londres, 2001

Rocha, J., Prevenção de Inundações e Reabilitação de Edifícios em Zonas Inundáveis, pp. 11-20, Territorium, Coimbra, 1995

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2010) – "HEC-RAS – River Analysis System – User'sManual", janeiro

U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2011) – "HEC-GeoRAS – GIS Tools for Support of HEC-RAS using ArcGIS – User'sManual", fevereiro

Vrijling, J.K., Jonkman, S.N., Stive, M.J.F., New Orleans is a Lesson to the Dutch, Journal of Coastal Research, Vol. 21, No. 6, 2005

Westen C.J., Asch, T.W.J., Soeters, R., Landslide Hazard and Risk Zonation – Why is it still so difficult?, Springer-Verlag, 2006

ENDEREÇOS ELETRÓNICOS

[1] http://www.infopedia.pt/$perfil-transversal-de-um-rio

[2] http://www.prof2000.pt/users/elisabethm/geo8/rios2.htm

[3] http://www.snirh.pt/

[4] http://www.inag.pt/

[5] http://www.cm-braga.pt/

[6] http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/

A1

ZONAS DE RISCO DE INUNDAÇÃO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA

-65040 -45040 -25040 -5040 14960 34960

249670 229670 209670 189670 169670 149670

N

CH Miño-Sil

RH Minho e Lima

RH Douro

Oceano Atlântico

Ponte da Barca
Montalegre
Terras de Bouro
Cávado
Boticas
Vila Verde
Amares
Ponte de Lima
Vieira do Minho
Cabeceiras de Basto
Póvoa de Lanhoso
Esposende
Braga
Guimarães
Rio Este/
Rio Guizando
Rio Pelhe/
Rio Pele
Ave
Fafe
Póvoa de Varzim
Vila do Conde
Celorico de Basto
Vila Nova de Famalicão
Felgueiras
Vizela
Paços de Ferreira
Lousada
Santo Tirso
Trofa
Costeiras entre o Douro e Leça
Maia
Leça
Matosinhos
Valongo
Gondomar
Porto

0 100 200 km

Zonas urbanas
Zonas inundáveis

Massas de água "Rio"
Massas de água "Lagos"
Massas de água "Transição"
Massas de água "Costeiras"
Limite de sub-bacia
Região hidrográfica do Cávado, Ave e Leça
Limite de concelho
Limite de Portugal Continental

Fontes de Informação:
Consultar Relatório Técnico para Consulta Pública do PGRH-Cávado, Ave e Leça

ARH NORTE Administração da Região Hidrográfica do Norte I.P.
Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território
ON.2 O NOVO NORTE
QREN QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO NACIONAL
UNIÃO EUROPEIA Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
engidro SISAQUA CENOR HIDROPROJECTO EngiRecursos

PGRH Norte Cávado, Ave e Leça

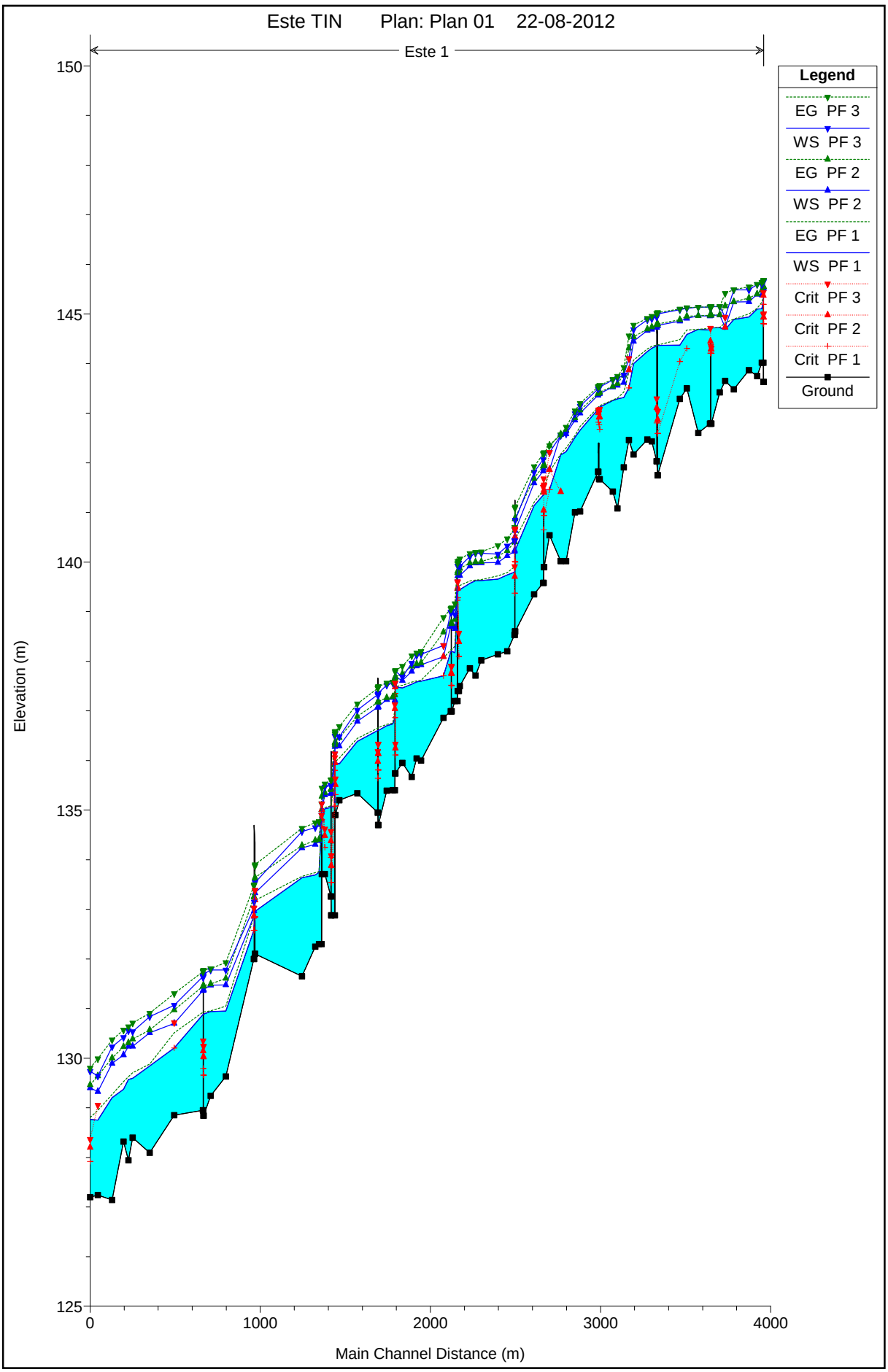
Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Cávado, Ave e Leça

Escala 1:400 000 (0 4 8 km)	Mapa: Zonas de risco de inundação na região hidrográfica	
Sistema de Referência: EPSG:3763 (PT-TM06-ETRS89)	N.º: Mapa 23	Versão:
Data: Setembro de 2011	Ficheiro: RH2_Mapa_023.mxd	Formato: 370 x 287

AS PEÇAS DESTE ESTUDO NÃO PODEM SER REPRODUZIDAS OU DESENVOLVIDAS, PARA QUALQUER EFEITO, SEM PRÉVIA AUTORIZAÇÃO ESCRITA DO AUTOR

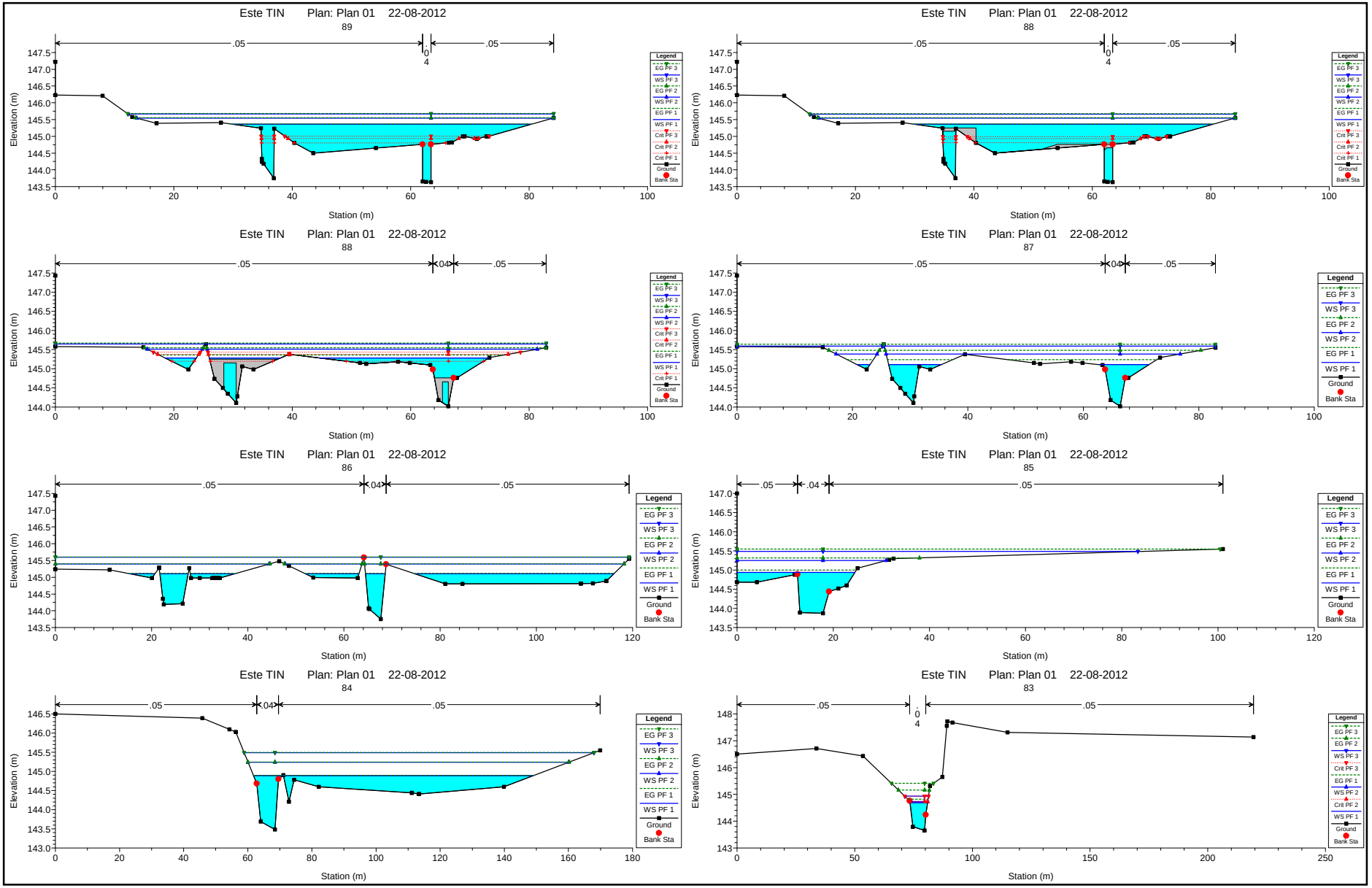
A2

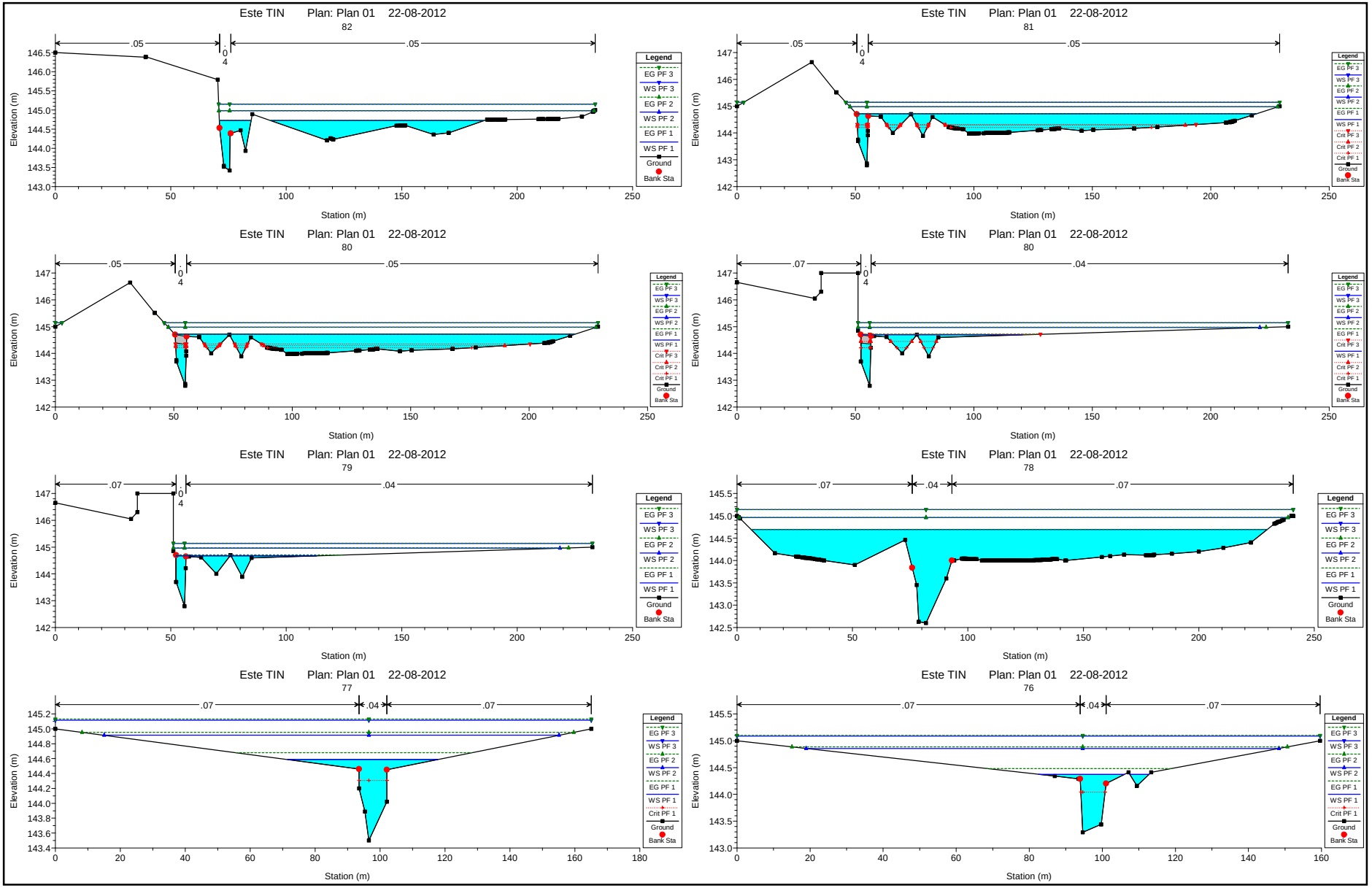
PERFIS LONGITUDINAIS DO ESCOAMENTO – CURVAS DE REGOLFO

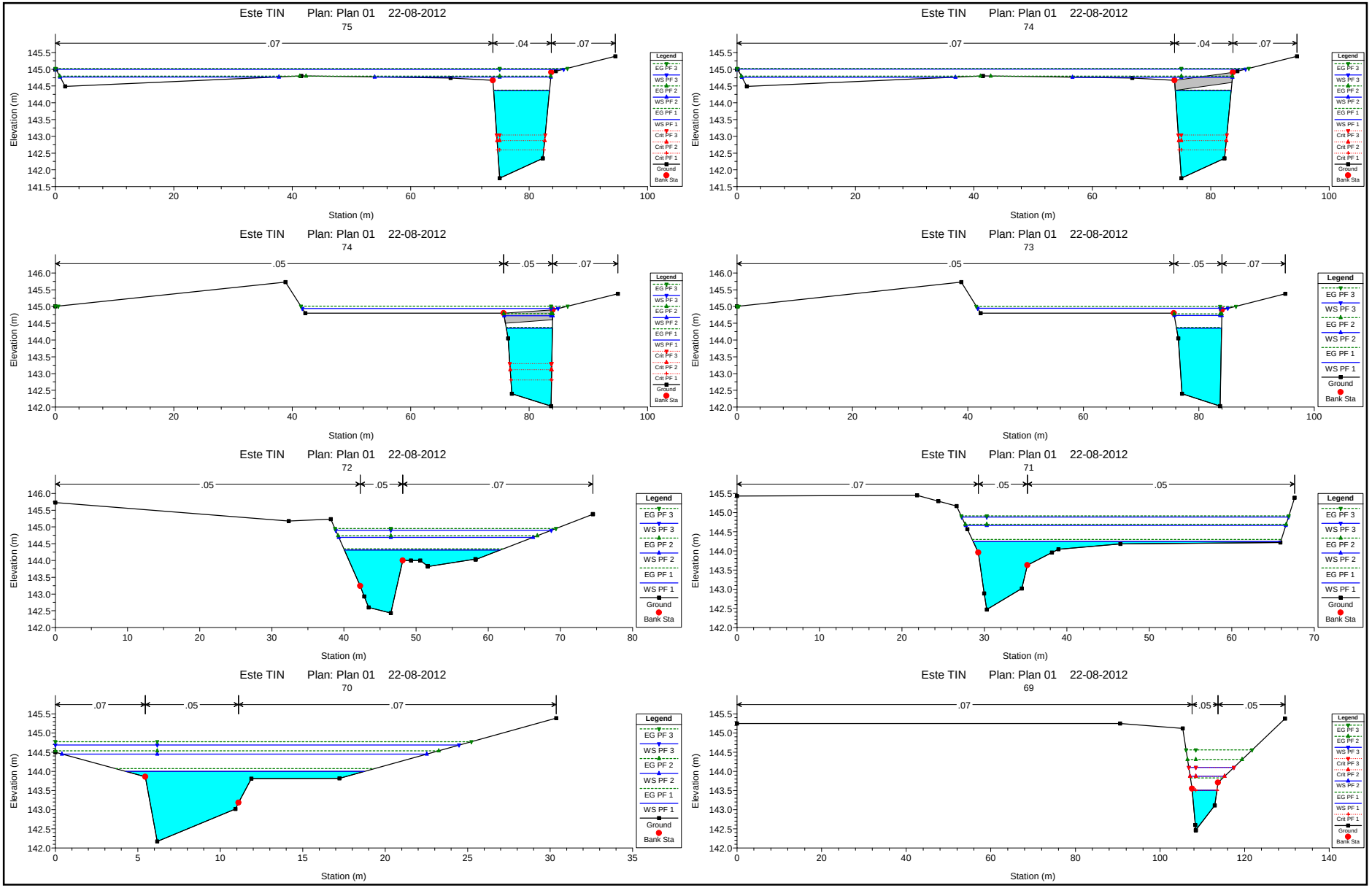

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
Este 1
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Elevation (m)
150
145
140
135
130
125
0
1000
2000
3000
4000
Main Channel Distance (m)

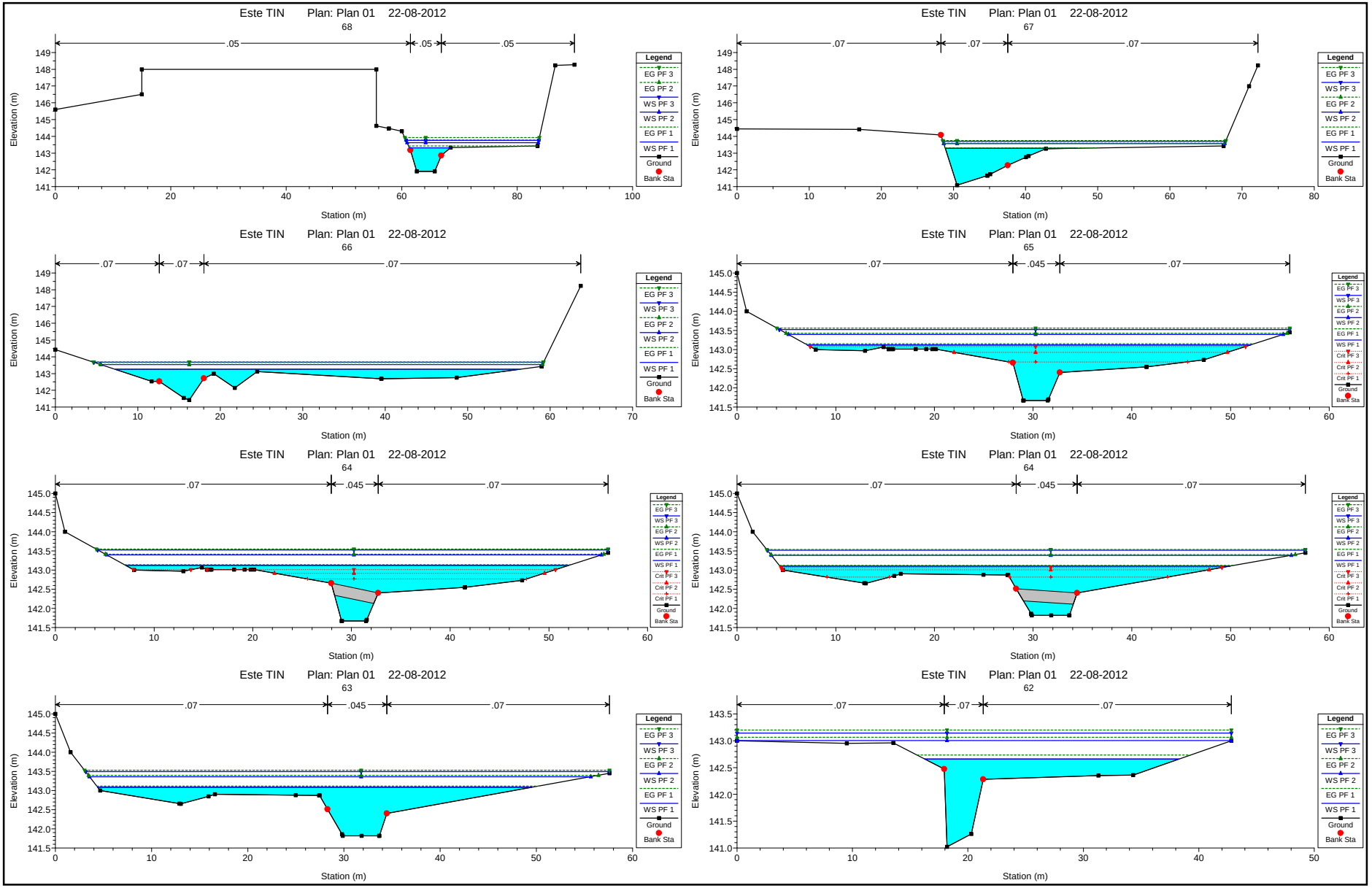
A3

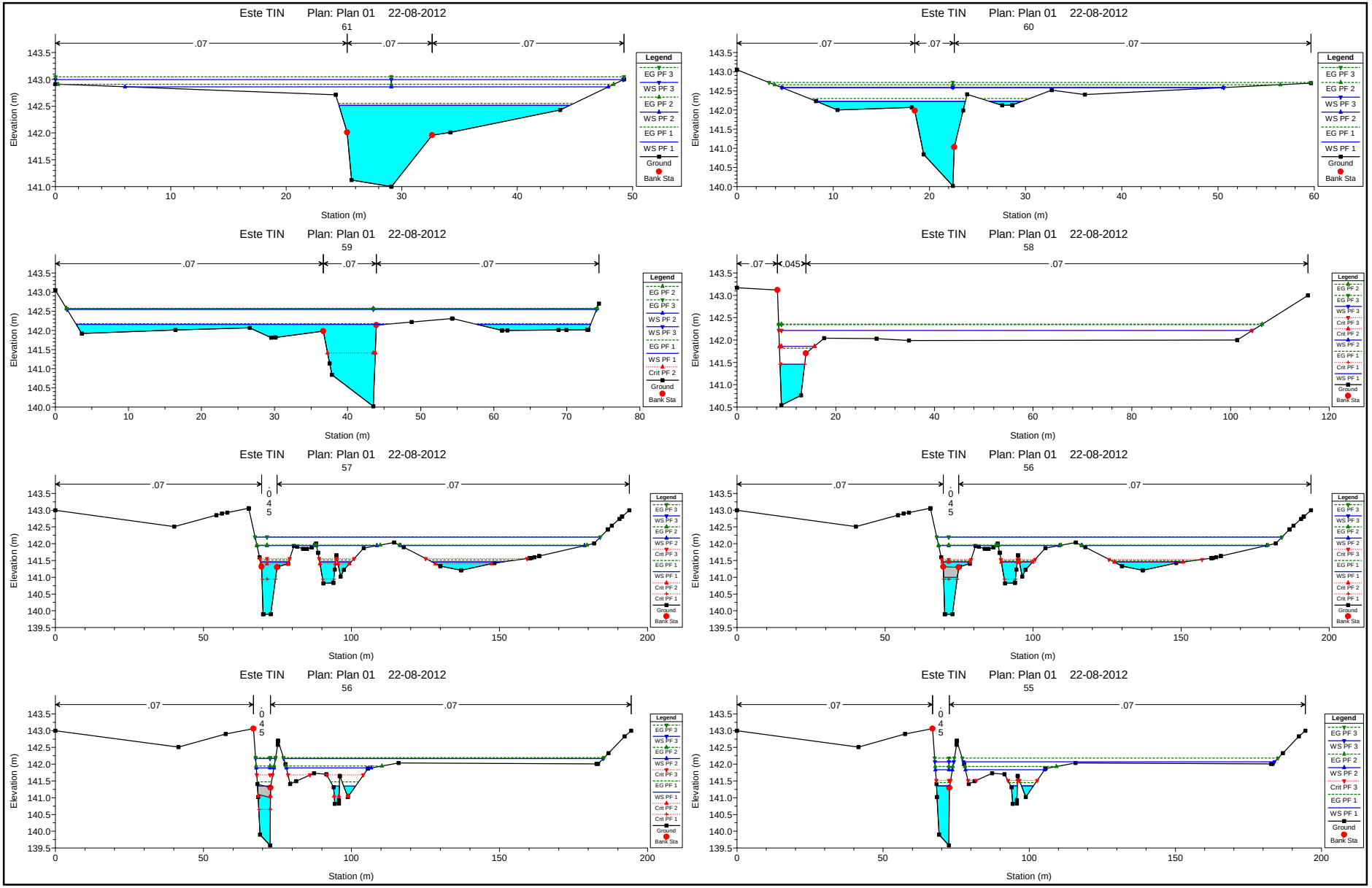
PERFIS TRANSVERSAIS DO ESCOAMENTO

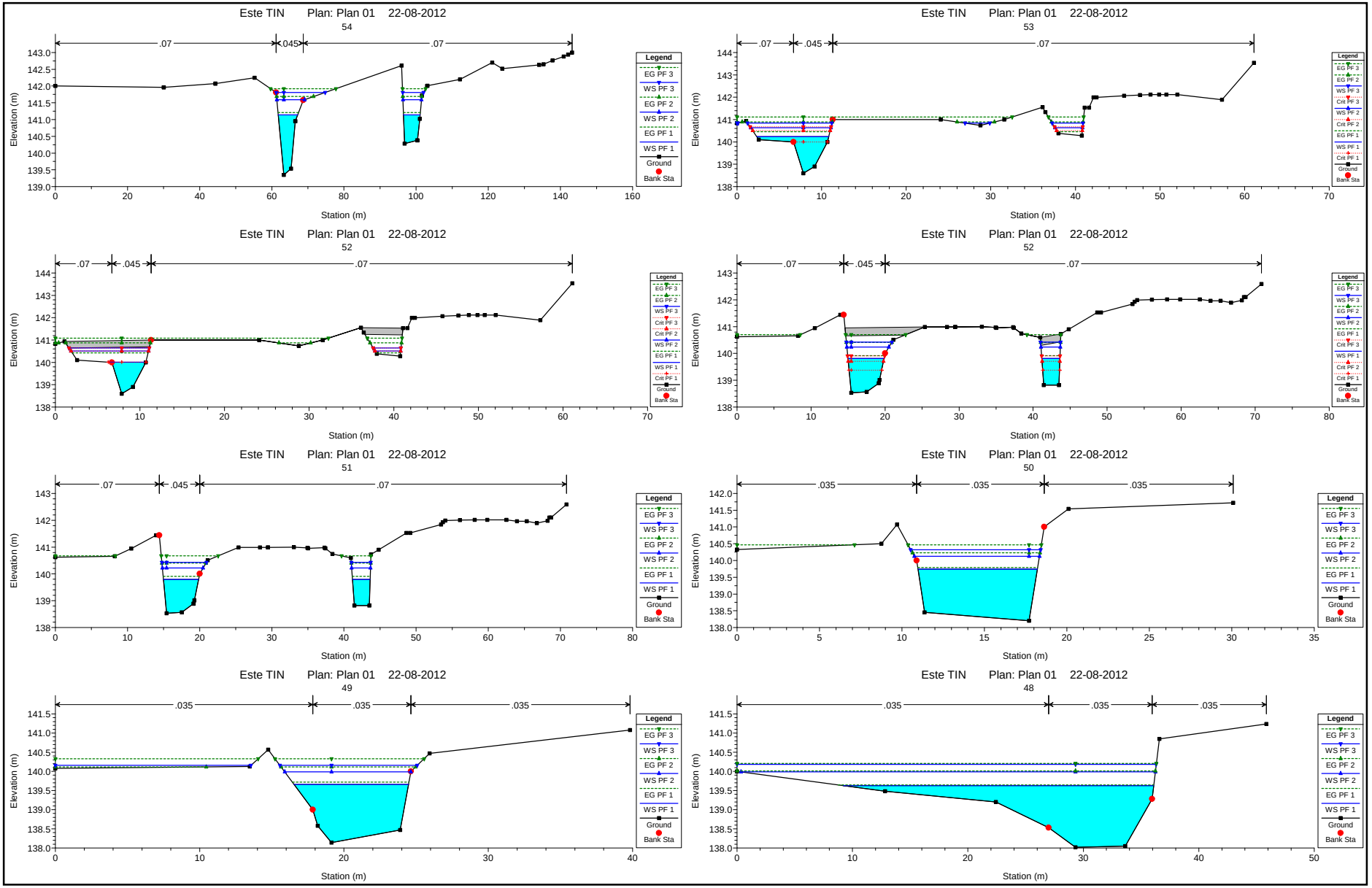

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
89
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
88
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
88
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
87
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
86
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
85
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
84
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
83
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)

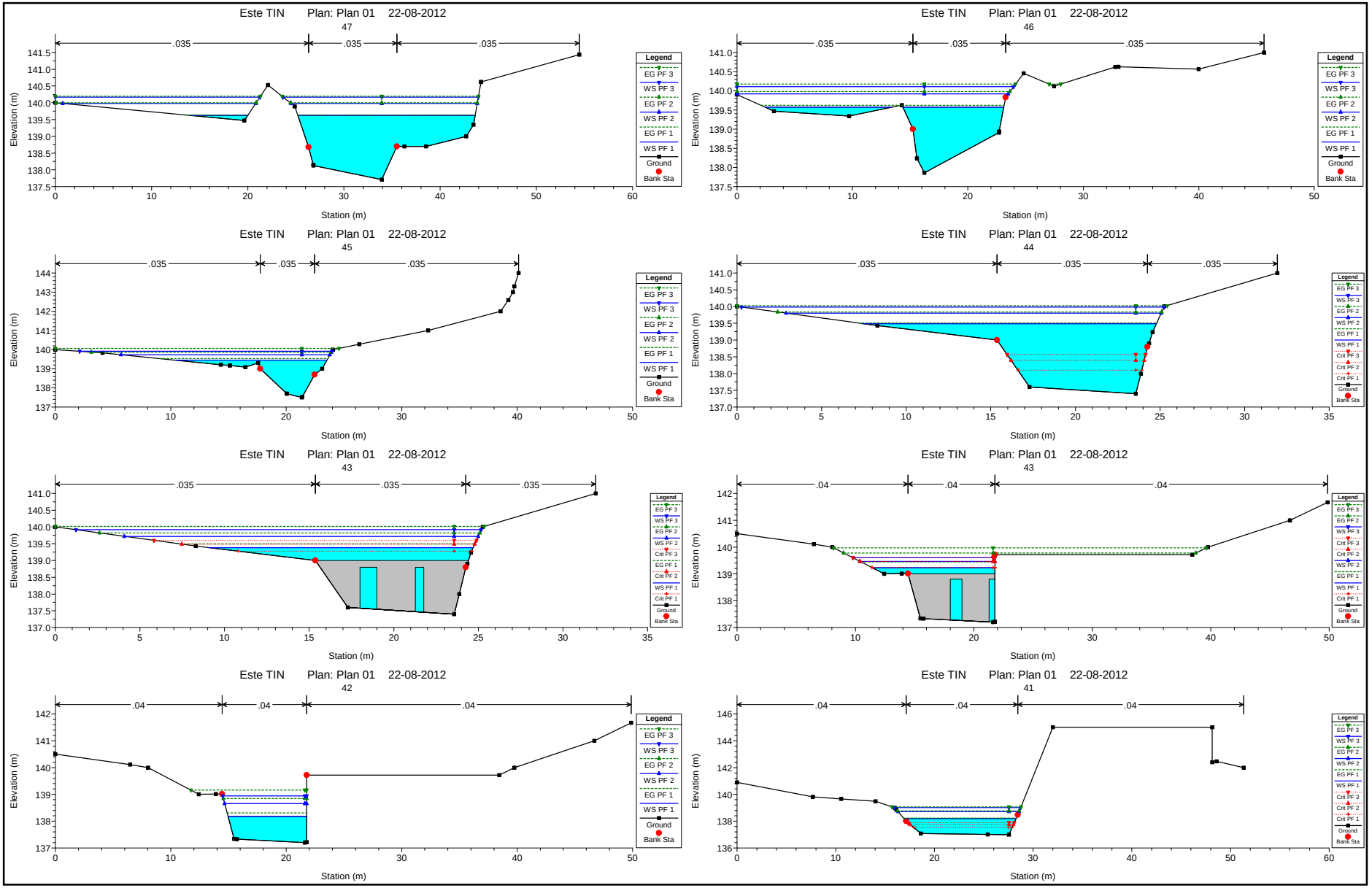

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
82
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
81
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
80
.05
.04
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
80
.07
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
79
.07
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
78
.07
.04
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
77
.07
.04
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
76
.07
.04
.07
Elevation (m)
Station (m)

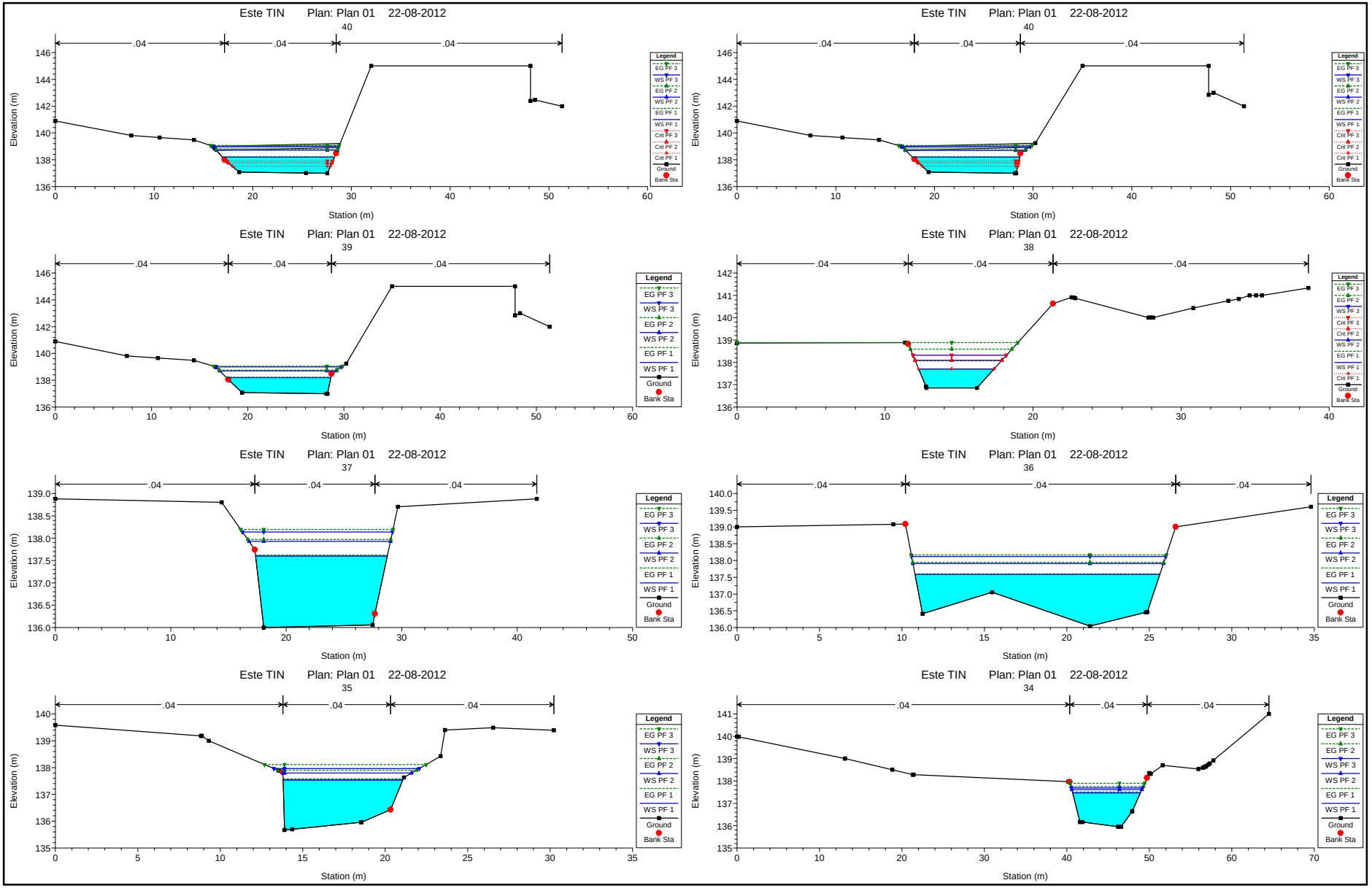

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
75
.07
.04
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
74
.07
.04
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
74
.05
.05
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
73
.05
.05
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
72
.05
.05
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
71
.07
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
70
.07
.05
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
69
.07
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)

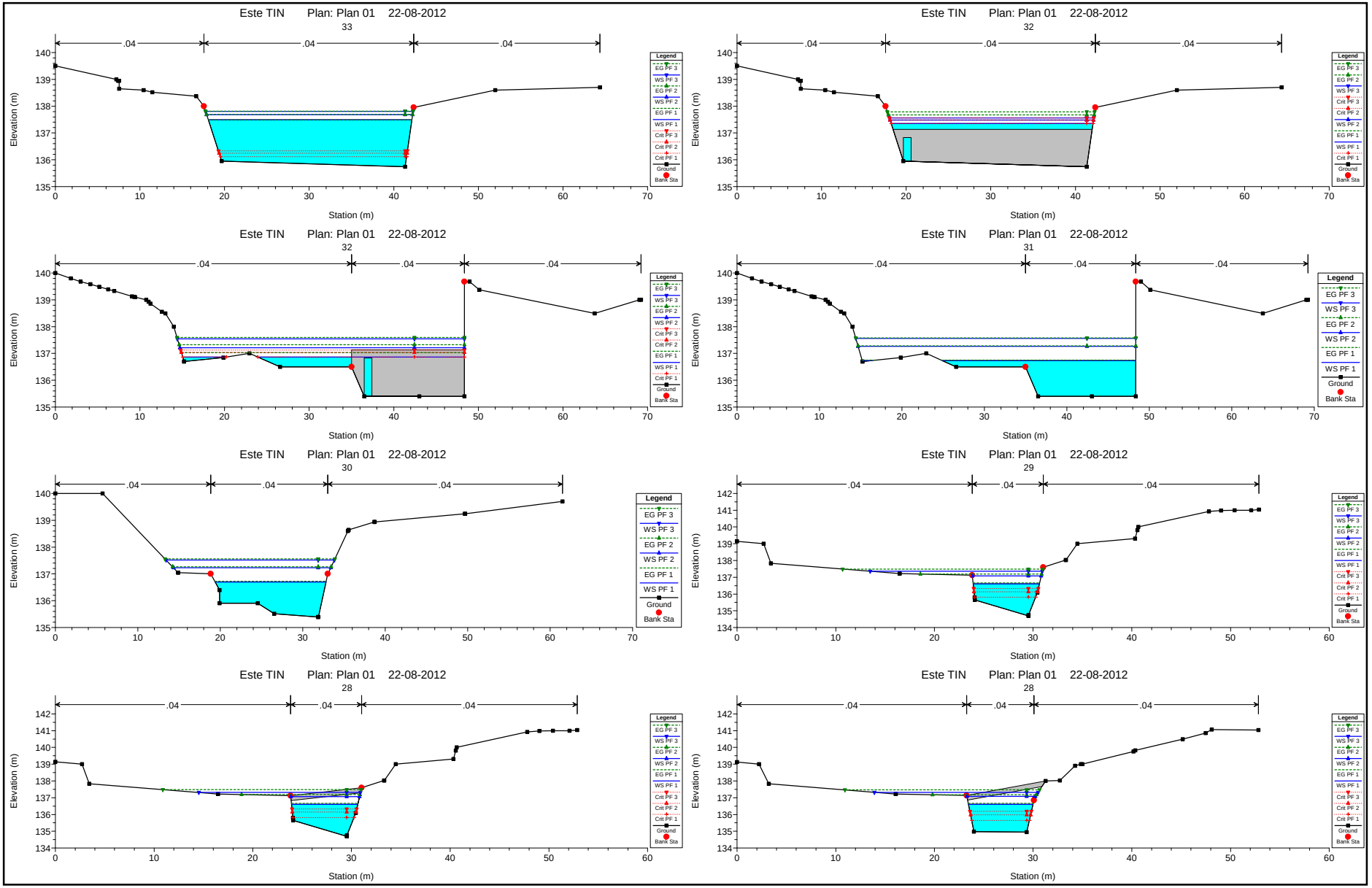

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
68
.05
.05
.05
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
67
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
66
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
65
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
64
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
64
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
63
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
62
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta

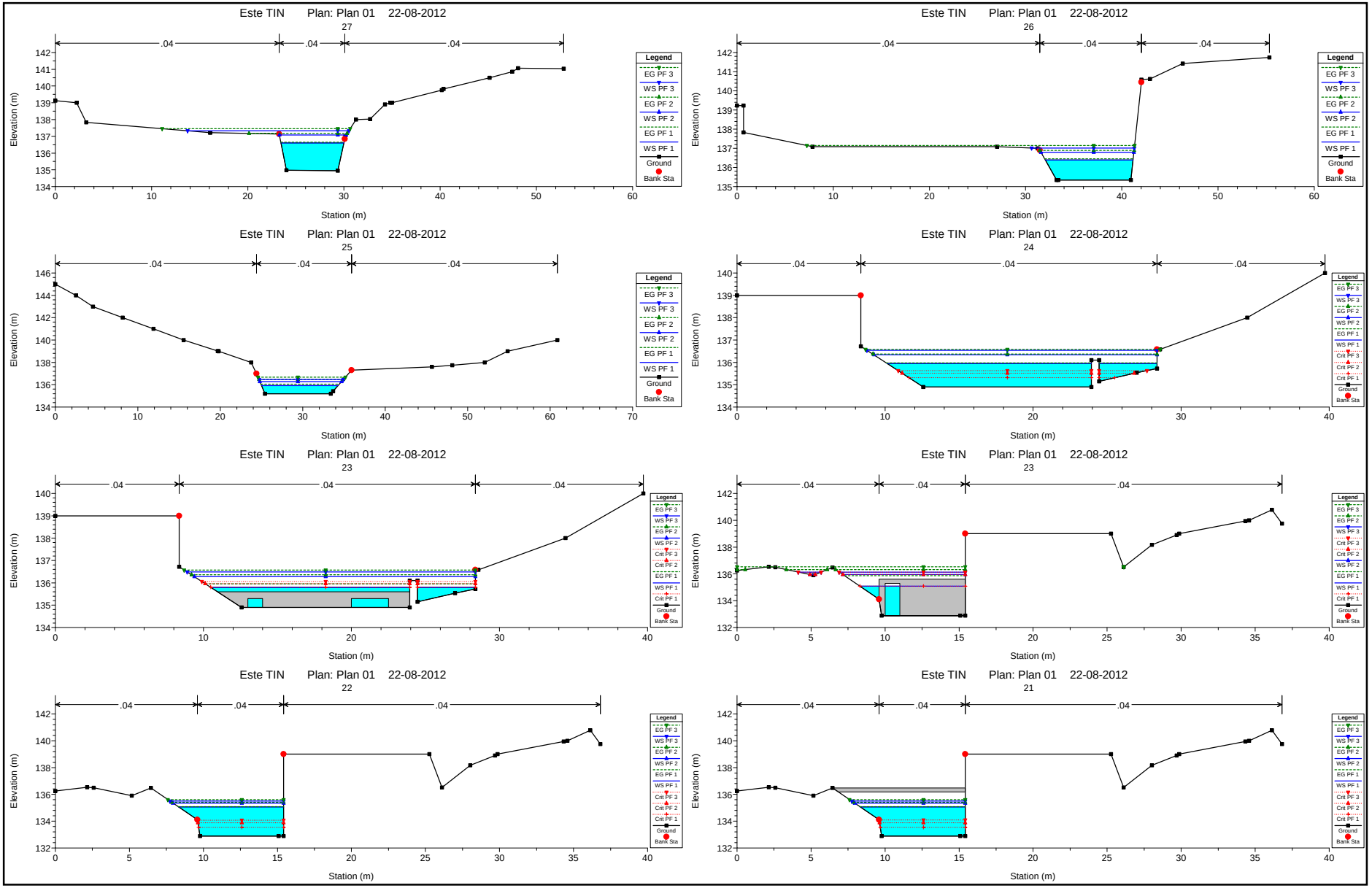

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
61
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
60
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
59
.07
.07
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 2
EG PF 3
WS PF 2
WS PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 2
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
58
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 2
EG PF 3
WS PF 3
Crit PF 3
Crit PF 2
WS PF 2
EG PF 1
Crit PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
57
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
56
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
56
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
55
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta

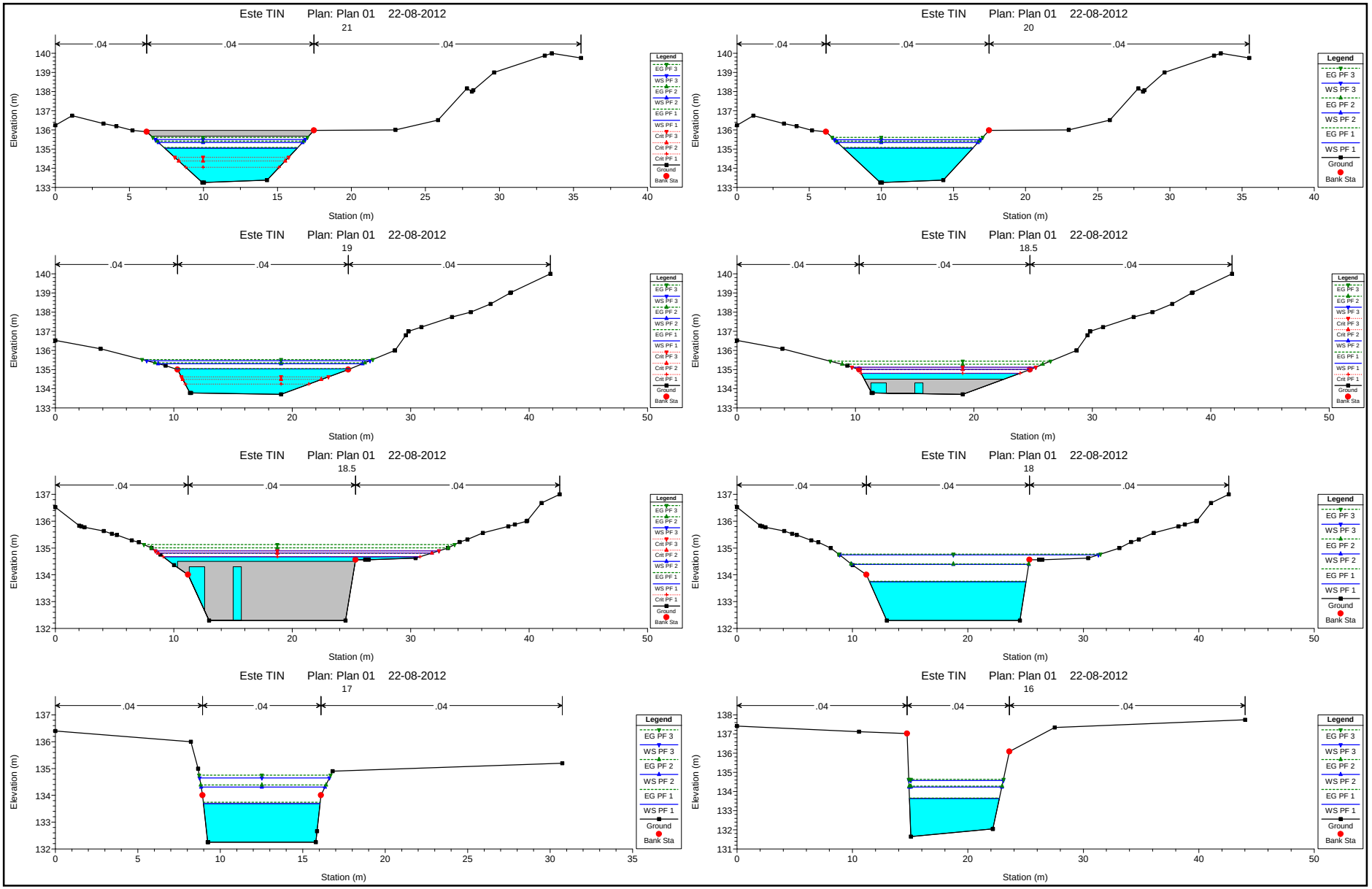

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
54
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
53
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
52
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
52
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
51
.07
.045
.07
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
50
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
49
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
48
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)

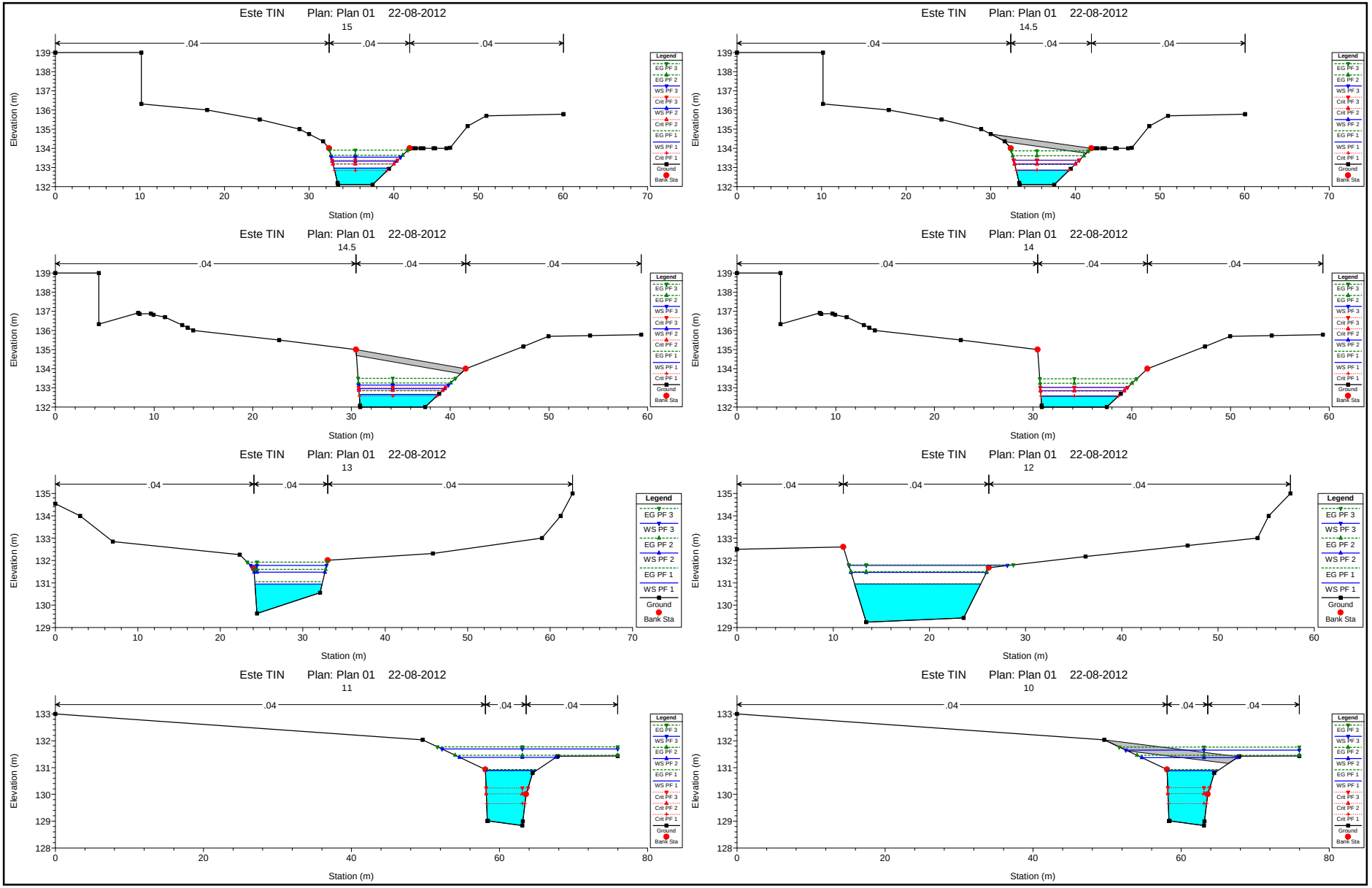

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
47
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
46
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
45
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
44
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
43
.035
.035
.035
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
Crit PF 2
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
43
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
Crit PF 3
Crit PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
42
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
41
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta

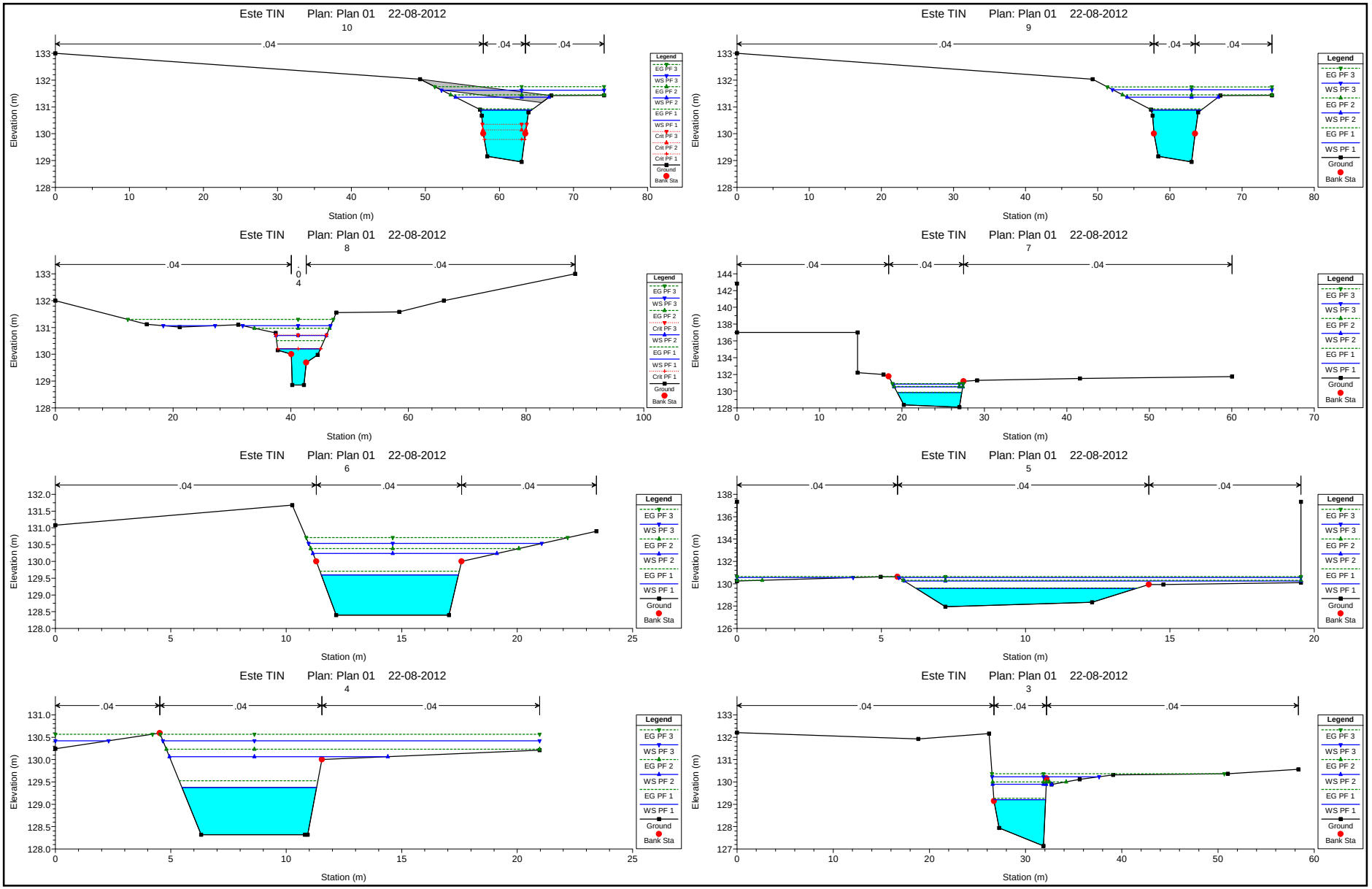

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
40
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
40
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
39
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
38
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
Crit PF 3
Crit PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
37
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
36
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
35
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
34
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta

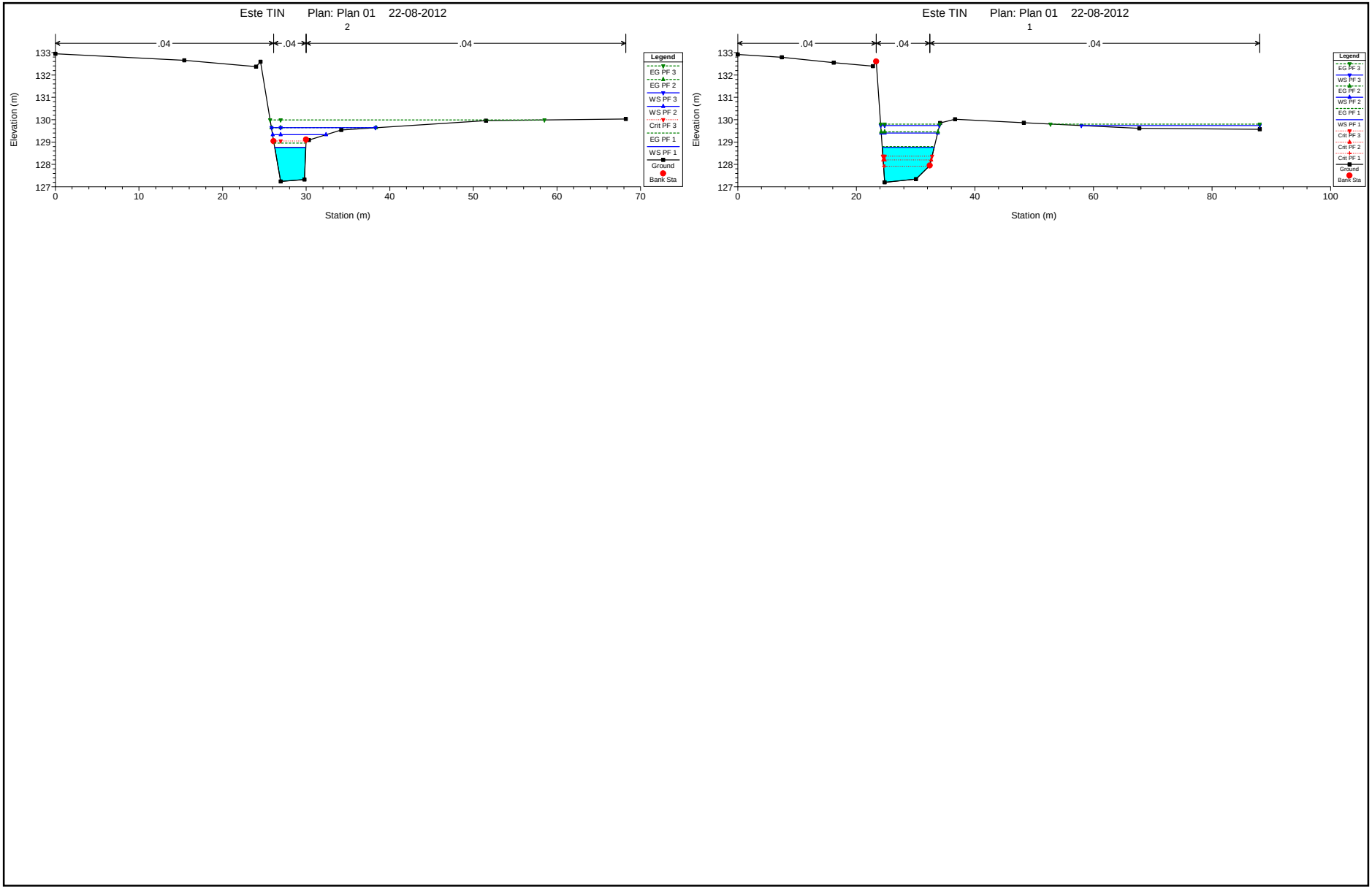

Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
33
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
32
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
32
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
31
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
30
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
29
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
28
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
28
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)


Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
27
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
26
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
25
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
24
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
23
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
23
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
22
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
21


Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
21
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
20
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
19
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
18.5
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
Crit PF 3
Crit PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
18.5
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
Crit PF 3
Crit PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
18
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
17
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
16
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta


Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
15
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
Crit PF 3
WS PF 2
Crit PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
14.5
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
14.5
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
14
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
13
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
12
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
11
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
10
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)


Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
10
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
9
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
8
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
Crit PF 3
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
7
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
6
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
5
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
4
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
3
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta


Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
2
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
EG PF 2
WS PF 3
WS PF 2
Crit PF 3
EG PF 1
WS PF 1
Ground
Bank Sta
Este TIN Plan: Plan 01 22-08-2012
1
.04
.04
.04
Elevation (m)
Station (m)
Legend
EG PF 3
WS PF 3
EG PF 2
WS PF 2
EG PF 1
WS PF 1
Crit PF 3
Crit PF 2
Crit PF 1
Ground
Bank Sta

A4

TABELAS DE CARATERIZAÇÃO DO ESCOAMENTO AO LONGO DOS VÁRIOS PERFIS TRANSVERSAIS

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Este Reach: 1

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	3959.114	PF 1	9.53	143.63	145.36	144.80	145.37	0.000606	0.47	28.48	50.47	0.12
1	3959.114	PF 2	17.78	143.63	145.54	144.93	145.55	0.001063	0.67	40.14	70.26	0.15
1	3959.114	PF 3	23.54	143.63	145.67	145.01	145.68	0.001015	0.68	48.83	71.85	0.15
1	3958.396		Bridge									
1	3948.166	PF 1	9.53	144.02	145.11		145.24	0.010080	1.96	7.21	19.84	0.70
1	3948.166	PF 2	17.78	144.02	145.39		145.48	0.006830	1.97	18.70	58.07	0.60
1	3948.166	PF 3	23.54	144.02	145.59		145.64	0.003048	1.48	32.41	82.59	0.42
1	3920.142	PF 1	9.53	143.75	145.10		145.12	0.001468	0.78	21.73	76.63	0.25
1	3920.142	PF 2	17.78	143.75	145.40		145.40	0.000816	0.64	50.38	114.29	0.19
1	3920.142	PF 3	23.54	143.75	145.60		145.60	0.000451	0.52	74.00	119.29	0.14
1	3872.748	PF 1	9.53	143.87	144.94		145.00	0.002873	1.22	10.54	24.51	0.40
1	3872.748	PF 2	17.78	143.87	145.25		145.32	0.002606	1.40	18.85	30.97	0.40
1	3872.748	PF 3	23.54	143.87	145.49		145.55	0.001981	1.37	31.24	83.35	0.35
1	3783.771	PF 1	9.53	143.48	144.89		144.90	0.000481	0.54	33.73	87.10	0.16
1	3783.771	PF 2	17.78	143.48	145.24		145.24	0.000259	0.47	66.48	100.02	0.13
1	3783.771	PF 3	23.54	143.48	145.49		145.49	0.000178	0.43	92.40	109.06	0.11
1	3732.509	PF 1	9.53	143.65	144.69		144.82	0.005955	1.65	5.90	7.46	0.57
1	3732.509	PF 2	17.78	143.65	144.74	144.74	145.16	0.017500	2.90	6.26	7.60	0.98
1	3732.509	PF 3	23.54	143.65	144.94	144.94	145.41	0.015200	3.09	8.02	10.08	0.95
1	3700.201	PF 1	9.53	143.42	144.72		144.73	0.000818	0.61	32.29	106.23	0.20
1	3700.201	PF 2	17.78	143.42	144.98		144.98	0.000427	0.52	70.52	162.41	0.15
1	3700.201	PF 3	23.54	143.42	145.15		145.15	0.000263	0.44	98.19	163.03	0.12
1	3650.963	PF 1	9.53	142.79	144.72	144.21	144.72	0.000069	0.20	86.56	169.02	0.06
1	3650.963	PF 2	17.78	142.79	144.98	144.29	144.98	0.000067	0.22	131.26	180.53	0.06
1	3650.963	PF 3	23.54	142.79	145.15	144.32	145.15	0.000059	0.22	162.52	185.96	0.05
1	3646.392		Bridge									
1	3642.95	PF 1	9.53	142.79	144.68		144.71	0.002530	0.97	15.35	60.58	0.26
1	3642.95	PF 2	17.78	142.79	144.96		144.97	0.001012	0.69	47.95	167.37	0.17
1	3642.95	PF 3	23.54	142.79	145.14		145.14	0.000405	0.47	80.04	181.54	0.11
1	3575.025	PF 1	9.53	142.60	144.69		144.69	0.000023	0.16	141.99	223.54	0.04
1	3575.025	PF 2	17.78	142.60	144.96		144.96	0.000030	0.20	203.94	237.84	0.05
1	3575.025	PF 3	23.54	142.60	145.14		145.14	0.000031	0.21	246.11	240.87	0.05
1	3507.297	PF 1	9.53	143.50	144.59	144.31	144.68	0.004746	1.37	9.13	46.26	0.50
1	3507.297	PF 2	17.78	143.50	144.91		144.95	0.001992	1.12	39.52	140.06	0.34
1	3507.297	PF 3	23.54	143.50	145.11		145.13	0.000932	0.86	71.58	165.06	0.24
1	3466.555	PF 1	9.53	143.29	144.37	144.04	144.48	0.004780	1.49	7.72	28.82	0.51
1	3466.555	PF 2	17.78	143.29	144.86		144.89	0.001235	1.01	45.73	129.40	0.28
1	3466.555	PF 3	23.54	143.29	145.08		145.10	0.000633	0.80	79.99	159.64	0.20
1	3336.059	PF 1	9.53	141.75	144.37	142.59	144.38	0.000213	0.49	19.42	9.43	0.11
1	3336.059	PF 2	17.78	141.75	144.77	142.87	144.80	0.000417	0.74	29.16	66.62	0.15
1	3336.059	PF 3	23.54	141.75	145.00	143.04	145.03	0.000435	0.80	48.14	85.84	0.16
1	3333.118		Bridge									
1	3330.518	PF 1	9.53	142.03	144.35		144.37	0.000648	0.63	15.23	7.82	0.14
1	3330.518	PF 2	17.78	142.03	144.73		144.78	0.001365	0.97	18.27	8.23	0.21
1	3330.518	PF 3	23.54	142.03	144.94		145.01	0.001650	1.12	24.93	43.35	0.23
1	3301.247	PF 1	9.53	142.43	144.31		144.35	0.001353	0.89	14.30	21.58	0.23
1	3301.247	PF 2	17.78	142.43	144.69		144.74	0.001587	1.12	23.50	26.92	0.26
1	3301.247	PF 3	23.54	142.43	144.90		144.96	0.001642	1.23	29.49	29.88	0.27
1	3275.153	PF 1	9.53	142.47	144.24		144.30	0.002461	1.09	11.48	37.27	0.30
1	3275.153	PF 2	17.78	142.47	144.67		144.70	0.001287	0.94	27.58	38.81	0.23
1	3275.153	PF 3	23.54	142.47	144.89		144.91	0.001051	0.92	36.21	39.61	0.21
1	3246.781	PF 1	9.53	142.17	144.00		144.07	0.003248	1.21	9.13	14.45	0.33
1	3246.781	PF 2	17.78	142.17	144.45		144.54	0.003040	1.42	17.44	22.13	0.34
1	3246.781	PF 3	23.54	142.17	144.69		144.78	0.002913	1.51	22.89	24.48	0.34
1	3217.012	PF 1	9.53	142.46	143.51	143.51	143.83	0.032893	2.52	3.79	5.87	1.00
1	3217.012	PF 2	17.78	142.46	143.87	143.87	144.31	0.026245	2.94	6.20	8.16	0.95
1	3217.012	PF 3	23.54	142.46	144.10	144.10	144.56	0.021296	3.05	8.37	10.66	0.89
1	3136.769	PF 1	9.53	141.91	143.31		143.43	0.005534	1.49	6.64	7.09	0.44
1	3136.769	PF 2	17.78	141.91	143.62		143.77	0.006448	1.87	12.50	22.73	0.49
1	3136.769	PF 3	23.54	141.91	143.77		143.92	0.006365	1.98	15.94	23.02	0.50
1	3099.695	PF 1	9.53	141.08	143.29		143.31	0.001376	0.66	16.33	18.08	0.17

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Este Reach: 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	3099.695	PF 2	17.78	141.08	143.56		143.60	0.002287	0.92	25.62	38.91	0.22
1	3099.695	PF 3	23.54	141.08	143.70		143.74	0.002600	1.02	31.07	39.15	0.23
1	3072.245	PF 1	9.53	141.42	143.26		143.27	0.001427	0.59	25.13	49.17	0.17
1	3072.245	PF 2	17.78	141.42	143.53		143.54	0.001382	0.66	39.40	53.52	0.17
1	3072.245	PF 3	23.54	141.42	143.67		143.68	0.001430	0.71	46.86	54.51	0.18
1	2995.186	PF 1	9.53	141.67	143.12	142.68	143.15	0.001545	0.94	19.13	44.93	0.27
1	2995.186	PF 2	17.78	141.67	143.40	142.93	143.43	0.001623	1.10	32.11	50.14	0.28
1	2995.186	PF 3	23.54	141.67	143.53	143.08	143.56	0.001727	1.19	38.81	51.72	0.30
1	2990.102		Bridge									
1	2986.104	PF 1	9.53	141.82	143.08		143.12	0.001701	0.96	17.86	45.10	0.29
1	2986.104	PF 2	17.78	141.82	143.36		143.40	0.001641	1.10	31.46	52.12	0.29
1	2986.104	PF 3	23.54	141.82	143.49		143.53	0.001723	1.19	38.48	54.44	0.31
1	2879.474	PF 1	9.53	141.02	142.66		142.73	0.011863	1.41	9.43	22.04	0.40
1	2879.474	PF 2	17.78	141.02	143.00		143.06	0.008061	1.36	18.82	42.82	0.34
1	2879.474	PF 3	23.54	141.02	143.14		143.20	0.007156	1.35	24.78	42.82	0.33
1	2849.274	PF 1	9.53	141.00	142.51		142.55	0.003386	0.90	12.88	19.98	0.26
1	2849.274	PF 2	17.78	141.00	142.86		142.91	0.003611	1.09	21.82	41.87	0.28
1	2849.274	PF 3	23.54	141.00	142.99		143.05	0.003936	1.20	28.09	49.19	0.29
1	2797.044	PF 1	9.53	140.02	142.22		142.30	0.006961	1.30	9.12	18.84	0.33
1	2797.044	PF 2	17.78	140.02	142.58		142.66	0.006628	1.46	19.57	45.83	0.33
1	2797.044	PF 3	23.54	140.02	142.58		142.72	0.011557	1.92	19.63	45.94	0.44
1	2765.735	PF 1	9.53	140.02	142.16		142.18	0.002003	0.71	19.50	57.74	0.18
1	2765.735	PF 2	17.78	140.02	142.57	141.42	142.58	0.000961	0.57	47.81	72.57	0.13
1	2765.735	PF 3	23.54	140.02	142.55		142.57	0.001815	0.78	46.53	72.48	0.18
1	2700.125	PF 1	9.53	140.54	141.46	141.46	141.82	0.028323	2.67	3.57	4.98	1.00
1	2700.125	PF 2	17.78	140.54	141.86	141.86	142.35	0.024512	3.11	5.83	7.12	0.97
1	2700.125	PF 3	23.54	140.54	142.21	142.21	142.35	0.007370	2.00	26.79	95.90	0.54
1	2668.616	PF 1	9.53	139.90	141.46	140.94	141.51	0.002900	1.15	13.61	43.70	0.33
1	2668.616	PF 2	17.78	139.90	141.94	141.40	141.96	0.001080	0.88	47.59	101.63	0.22
1	2668.616	PF 3	23.54	139.90	142.20	141.56	142.21	0.000602	0.72	76.11	116.54	0.16
1	2665.927		Bridge									
1	2663.617	PF 1	9.53	139.58	141.35		141.45	0.004655	1.43	7.83	10.83	0.38
1	2663.617	PF 2	17.78	139.58	141.83		141.93	0.004259	1.58	18.26	32.88	0.38
1	2663.617	PF 3	23.54	139.58	142.07	141.51	142.18	0.004657	1.75	30.34	112.87	0.40
1	2609.519	PF 1	9.53	139.35	141.14		141.21	0.004041	1.27	9.13	9.96	0.39
1	2609.519	PF 2	17.78	139.35	141.60		141.69	0.004676	1.48	14.28	12.87	0.43
1	2609.519	PF 3	23.54	139.35	141.81		141.92	0.004893	1.66	17.72	19.39	0.45
1	2498.252	PF 1	9.53	138.60	140.24	140.00	140.46	0.012441	2.14	5.06	8.51	0.67
1	2498.252	PF 2	17.78	138.60	140.64	140.51	140.89	0.011579	2.44	9.56	12.75	0.67
1	2498.252	PF 3	23.54	138.60	140.84	140.67	141.11	0.011354	2.59	12.42	16.68	0.67
1	2496.172		Bridge									
1	2494.112	PF 1	9.53	138.53	139.80		139.91	0.006865	1.58	7.14	7.31	0.50
1	2494.112	PF 2	17.78	138.53	140.22		140.40	0.008340	2.05	10.38	8.25	0.56
1	2494.112	PF 3	23.54	138.53	140.43		140.67	0.009328	2.35	12.23	8.89	0.60
1	2451.449	PF 1	9.53	138.20	139.74		139.79	0.001157	0.99	9.60	7.24	0.28
1	2451.449	PF 2	17.78	138.20	140.13		140.23	0.001856	1.43	12.47	7.60	0.35
1	2451.449	PF 3	23.54	138.20	140.32		140.47	0.002305	1.69	13.99	7.88	0.40
1	2397.295	PF 1	9.53	138.14	139.66		139.72	0.001396	1.12	8.72	7.92	0.32
1	2397.295	PF 2	17.78	138.14	139.99		140.12	0.002228	1.61	11.51	8.74	0.41
1	2397.295	PF 3	23.54	138.14	140.16		140.33	0.002680	1.89	13.75	23.07	0.46
1	2299.127	PF 1	9.53	138.02	139.63		139.65	0.000342	0.63	18.79	26.90	0.17
1	2299.127	PF 2	17.78	138.02	139.99		140.01	0.000395	0.80	30.05	35.89	0.19
1	2299.127	PF 3	23.54	138.02	140.18		140.21	0.000388	0.85	37.08	36.31	0.20
1	2264.55	PF 1	9.53	137.71	139.62		139.64	0.000169	0.50	22.36	24.51	0.12
1	2264.55	PF 2	17.78	137.71	139.98		140.00	0.000241	0.67	33.69	39.42	0.15
1	2264.55	PF 3	23.54	137.71	140.17		140.19	0.000263	0.75	41.55	41.58	0.16
1	2231.443	PF 1	9.53	137.86	139.57		139.62	0.001170	0.99	10.90	19.66	0.29
1	2231.443	PF 2	17.78	137.86	139.92		139.98	0.001211	1.18	18.56	23.48	0.31
1	2231.443	PF 3	23.54	137.86	140.11		140.17	0.001167	1.25	23.06	23.95	0.31
1	2172.825	PF 1	9.53	137.50	139.45		139.53	0.001852	1.35	8.31	13.08	0.37
1	2172.825	PF 2	17.78	137.50	139.73		139.87	0.002582	1.81	12.79	18.09	0.45

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Este Reach: 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	2172.825	PF 3	23.54	137.50	139.91		140.07	0.002664	1.97	16.35	21.84	0.46
1	2167.639	PF 1	9.53	137.40	139.49	138.10	139.51	0.000233	0.58	17.90	17.37	0.14
1	2167.639	PF 2	17.78	137.40	139.80	138.39	139.84	0.000416	0.87	24.02	22.16	0.19
1	2167.639	PF 3	23.54	137.40	139.98	138.57	140.03	0.000504	1.01	28.30	24.97	0.21
1	2154.841		Bridge									
1	2144.001	PF 1	9.53	137.20	138.18		138.31	0.006362	1.60	5.94	6.82	0.55
1	2144.001	PF 2	17.78	137.20	138.66		138.84	0.005830	1.91	9.31	7.12	0.53
1	2144.001	PF 3	23.54	137.20	138.94		139.16	0.005748	2.07	11.35	7.30	0.53
1	2124.781	PF 1	9.53	136.99	138.20	137.51	138.24	0.001060	0.80	11.88	11.38	0.25
1	2124.781	PF 2	17.78	136.99	138.71	137.75	138.76	0.001011	1.00	17.92	12.26	0.26
1	2124.781	PF 3	23.54	136.99	139.01	137.89	139.07	0.000976	1.11	21.66	12.80	0.26
1	2122.062		Bridge									
1	2119.58	PF 1	9.53	136.99	138.19		138.23	0.001174	0.83	11.43	10.86	0.26
1	2119.58	PF 2	17.78	136.99	138.70		138.76	0.001134	1.05	17.21	12.08	0.27
1	2119.58	PF 3	23.54	136.99	138.99		139.06	0.001121	1.16	20.79	13.03	0.27
1	2076.882	PF 1	9.53	136.86	137.71	137.71	138.07	0.021420	2.65	3.60	5.09	1.01
1	2076.882	PF 2	17.78	136.86	138.09	138.09	138.59	0.020094	3.11	5.72	5.87	1.01
1	2076.882	PF 3	23.54	136.86	138.32	138.32	138.88	0.019353	3.32	7.09	6.32	1.00
1	1945.481	PF 1	9.53	136.00	137.60		137.62	0.000378	0.60	16.34	11.40	0.15
1	1945.481	PF 2	17.78	136.00	137.93		137.97	0.000684	0.91	20.20	12.25	0.21
1	1945.481	PF 3	23.54	136.00	138.14		138.20	0.000825	1.07	22.87	13.00	0.24
1	1918.389	PF 1	9.53	136.04	137.58		137.60	0.000713	0.63	15.09	14.85	0.20
1	1918.389	PF 2	17.78	136.04	137.91		137.95	0.001038	0.89	19.95	15.19	0.25
1	1918.389	PF 3	23.54	136.04	138.12		138.17	0.001148	1.02	23.16	15.41	0.26
1	1890.062	PF 1	9.53	135.67	137.54		137.58	0.000951	0.90	10.89	7.26	0.23
1	1890.062	PF 2	17.78	135.67	137.80		137.90	0.002068	1.43	12.83	7.80	0.33
1	1890.062	PF 3	23.54	135.67	137.96		138.11	0.002710	1.73	14.20	8.82	0.39
1	1835.462	PF 1	9.53	135.95	137.46		137.51	0.001533	0.99	9.59	8.21	0.29
1	1835.462	PF 2	17.78	135.95	137.61		137.75	0.003762	1.64	10.83	8.49	0.46
1	1835.462	PF 3	23.54	135.95	137.68		137.90	0.005615	2.05	11.46	8.63	0.57
1	1793.941	PF 1	9.53	135.74	137.49	136.11	137.49	0.000063	0.25	37.55	24.06	0.06
1	1793.941	PF 2	17.78	135.74	137.68	136.25	137.69	0.000150	0.42	42.29	24.35	0.10
1	1793.941	PF 3	23.54	135.74	137.80	136.33	137.81	0.000215	0.52	45.14	24.53	0.12
1	1789.923		Bridge									
1	1778.359	PF 1	9.53	135.40	136.74		136.75	0.000391	0.54	19.25	24.69	0.15
1	1778.359	PF 2	17.78	135.40	137.27		137.28	0.000308	0.59	36.00	33.68	0.14
1	1778.359	PF 3	23.54	135.40	137.56		137.58	0.000272	0.60	45.97	33.95	0.13
1	1742.856	PF 1	9.53	135.39	136.70		136.73	0.001006	0.73	13.04	13.46	0.24
1	1742.856	PF 2	17.78	135.39	137.23		137.26	0.000839	0.86	21.28	19.07	0.23
1	1742.856	PF 3	23.54	135.39	137.52		137.56	0.000749	0.92	27.05	20.42	0.22
1	1693.684	PF 1	9.53	134.70	136.60	135.81	136.66	0.001728	1.06	8.97	6.71	0.29
1	1693.684	PF 2	17.78	134.70	137.08	136.14	137.19	0.002460	1.45	12.26	6.98	0.35
1	1693.684	PF 3	23.54	134.70	137.36	136.33	137.49	0.002628	1.62	15.80	17.45	0.36
1	1692.725		Bridge									
1	1690.716	PF 1	9.53	134.95	136.61		136.65	0.001337	0.98	9.76	6.55	0.26
1	1690.716	PF 2	17.78	134.95	137.08		137.18	0.002034	1.38	12.94	6.95	0.32
1	1690.716	PF 3	23.54	134.95	137.33		137.46	0.002294	1.58	15.95	16.77	0.34
1	1570.546	PF 1	9.53	135.34	136.39		136.45	0.002326	1.08	8.81	9.12	0.35
1	1570.546	PF 2	17.78	135.34	136.79		136.89	0.002789	1.41	12.59	9.66	0.39
1	1570.546	PF 3	23.54	135.34	137.01		137.14	0.002993	1.59	14.81	10.68	0.41
1	1464.599	PF 1	9.53	135.20	135.93		136.05	0.006657	1.51	6.33	9.28	0.58
1	1464.599	PF 2	17.78	135.20	136.29		136.46	0.006240	1.83	9.73	9.91	0.59
1	1464.599	PF 3	23.54	135.20	136.48		136.69	0.006415	2.02	11.63	10.24	0.61
1	1440.982	PF 1	9.53	134.90	135.96	135.31	135.98	0.000894	0.62	15.29	17.73	0.21
1	1440.982	PF 2	17.78	134.90	136.34	135.51	136.37	0.001007	0.80	22.33	19.12	0.24
1	1440.982	PF 3	23.54	134.90	136.54	135.63	136.58	0.001062	0.89	26.35	19.59	0.25
1	1438.982		Bridge									
1	1417.865	PF 1	9.53	132.88	135.06	133.54	135.09	0.000567	0.74	13.21	7.09	0.16
1	1417.865	PF 2	17.78	132.88	135.35	133.88	135.42	0.001324	1.21	15.29	7.47	0.25
1	1417.865	PF 3	23.54	132.88	135.50	134.08	135.61	0.001903	1.49	16.46	7.67	0.29

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Este Reach: 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	1415.852		Bridge									
1	1415.207	PF 1	9.53	133.26	135.05		135.09	0.000911	0.82	11.56	8.97	0.23
1	1415.207	PF 2	17.78	133.26	135.34		135.42	0.001792	1.25	14.22	9.72	0.33
1	1415.207	PF 3	23.54	133.26	135.49		135.61	0.002362	1.49	15.78	10.14	0.38
1	1379.046	PF 1	9.53	133.71	135.03	134.25	135.05	0.000749	0.66	14.40	14.69	0.21
1	1379.046	PF 2	17.78	133.71	135.31	134.48	135.36	0.001137	0.96	18.82	17.26	0.27
1	1379.046	PF 3	23.54	133.71	135.47	134.62	135.53	0.001331	1.12	21.66	18.85	0.30
1	1360.003		Bridge									
1	1344.813	PF 1	9.53	132.30	133.74		133.76	0.000350	0.53	18.10	13.56	0.15
1	1344.813	PF 2	17.78	132.30	134.39		134.41	0.000348	0.66	27.28	15.34	0.15
1	1344.813	PF 3	23.54	132.30	134.74		134.77	0.000342	0.72	33.84	22.41	0.15
1	1323.925	PF 1	9.53	132.25	133.69		133.74	0.001429	0.97	9.85	7.08	0.26
1	1323.925	PF 2	17.78	132.25	134.31		134.39	0.001574	1.25	14.31	7.51	0.28
1	1323.925	PF 3	23.54	132.25	134.65		134.75	0.001622	1.41	16.92	7.87	0.29
1	1244.872	PF 1	9.53	131.65	133.64		133.66	0.000630	0.72	13.24	7.78	0.18
1	1244.872	PF 2	17.78	131.65	134.24		134.29	0.000913	0.99	17.99	8.03	0.21
1	1244.872	PF 3	23.54	131.65	134.57		134.63	0.001082	1.14	20.69	8.17	0.23
1	969.6581	PF 1	9.53	132.10	132.96	132.84	133.18	0.012686	2.08	4.59	6.56	0.79
1	969.6581	PF 2	17.78	132.10	133.33	133.19	133.64	0.012340	2.47	7.20	7.62	0.81
1	969.6581	PF 3	23.54	132.10	133.54	133.38	133.90	0.012241	2.66	8.84	8.21	0.82
1	967.6493		Bridge									
1	962.6273	PF 1	9.53	132.00	132.58	132.58	132.84	0.021784	2.29	4.16	7.86	1.01
1	962.6273	PF 2	17.78	132.00	132.86	132.86	133.24	0.020010	2.75	6.46	8.48	1.01
1	962.6273	PF 3	23.54	132.00	133.02	133.02	133.48	0.019352	2.98	7.90	8.84	1.01
1	797.4668	PF 1	9.53	129.63	130.95		131.05	0.005079	1.42	6.73	8.15	0.50
1	797.4668	PF 2	17.78	129.63	131.48		131.61	0.003816	1.59	11.17	8.58	0.45
1	797.4668	PF 3	23.54	129.63	131.78		131.93	0.003527	1.71	13.82	9.21	0.44
1	708.0865	PF 1	9.53	129.24	130.94		130.95	0.000302	0.51	18.60	13.09	0.14
1	708.0865	PF 2	17.78	129.24	131.47		131.49	0.000401	0.69	25.80	14.08	0.16
1	708.0865	PF 3	23.54	129.24	131.78		131.81	0.000441	0.78	30.28	16.46	0.17
1	666.6782	PF 1	9.53	128.84	130.89	129.65	130.93	0.000945	0.91	10.72	6.86	0.21
1	666.6782	PF 2	17.78	128.84	131.38	130.02	131.46	0.001363	1.28	15.55	13.00	0.27
1	666.6782	PF 3	23.54	128.84	131.69	130.24	131.77	0.001299	1.36	22.17	23.75	0.26
1	664.5734		Bridge									
1	662.5716	PF 1	9.53	128.95	130.88		130.93	0.000896	0.96	10.22	6.91	0.23
1	662.5716	PF 2	17.78	128.95	131.36		131.45	0.001262	1.34	14.91	12.65	0.29
1	662.5716	PF 3	23.54	128.95	131.64		131.74	0.001282	1.46	20.41	22.10	0.30
1	493.9305	PF 1	9.53	128.85	130.21	130.21	130.51	0.014727	2.58	4.27	7.27	0.73
1	493.9305	PF 2	17.78	128.85	130.70		130.97	0.009605	2.59	8.15	8.56	0.63
1	493.9305	PF 3	23.54	128.85	131.06	130.72	131.30	0.006978	2.51	12.42	23.72	0.55
1	349.4803	PF 1	9.53	128.09	129.84		129.88	0.000880	0.81	11.71	7.83	0.21
1	349.4803	PF 2	17.78	128.09	130.51		130.57	0.001038	1.04	17.08	8.30	0.23
1	349.4803	PF 3	23.54	128.09	130.83		130.91	0.001199	1.19	19.81	8.54	0.25
1	249.3479	PF 1	9.53	128.40	129.59		129.70	0.004250	1.47	6.46	5.93	0.45
1	249.3479	PF 2	17.78	128.40	130.24		130.38	0.003453	1.70	10.63	7.97	0.42
1	249.3479	PF 3	23.54	128.40	130.54		130.71	0.003333	1.86	13.34	10.10	0.43
1	225.3421	PF 1	9.53	127.94	129.57		129.63	0.001803	1.06	8.97	7.60	0.31
1	225.3421	PF 2	17.78	127.94	130.24		130.31	0.001483	1.20	15.65	13.74	0.29
1	225.3421	PF 3	23.54	127.94	130.56		130.63	0.001363	1.26	20.69	17.96	0.29
1	196.5851	PF 1	9.53	128.32	129.37		129.53	0.006714	1.73	5.50	5.83	0.57
1	196.5851	PF 2	17.78	128.32	130.06		130.23	0.004428	1.81	9.90	9.46	0.47
1	196.5851	PF 3	23.54	128.32	130.42		130.57	0.003360	1.76	15.37	18.62	0.42
1	129.3699	PF 1	9.53	127.14	129.20		129.27	0.002074	1.16	8.25	5.39	0.30
1	129.3699	PF 2	17.78	127.14	129.89		130.00	0.002315	1.48	12.04	5.62	0.32
1	129.3699	PF 3	23.54	127.14	130.23		130.37	0.002557	1.68	14.80	11.13	0.34
1	45.86645	PF 1	9.53	127.24	128.75		128.95	0.008184	1.97	4.84	3.70	0.55
1	45.86645	PF 2	17.78	127.24	129.33		129.64	0.009217	2.50	7.38	6.39	0.59
1	45.86645	PF 3	23.54	127.24	129.64	129.05	129.99	0.008665	2.69	9.98	12.47	0.59
1	0	PF 1	9.53	127.20	128.76	127.92	128.80	0.001000	0.87	11.09	8.75	0.24
1	0	PF 2	17.78	127.20	129.40	128.20	129.46	0.001002	1.08	16.93	9.51	0.25

HEC-RAS Plan: Plan 01 River: Este Reach: 1 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
1	0	PF 3	23.54	127.20	129.74	128.37	129.80	0.001001	1.18	23.74	40.01	0.25

A5

CARTAS DE ZONAS INUNDÁVEIS PARA ÁREAS DE RISCO

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala:

1/2.000

Designação:

Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga

Autor:

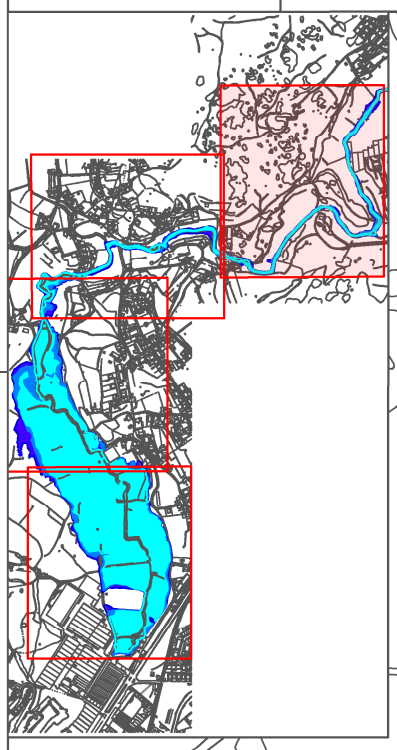
Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa

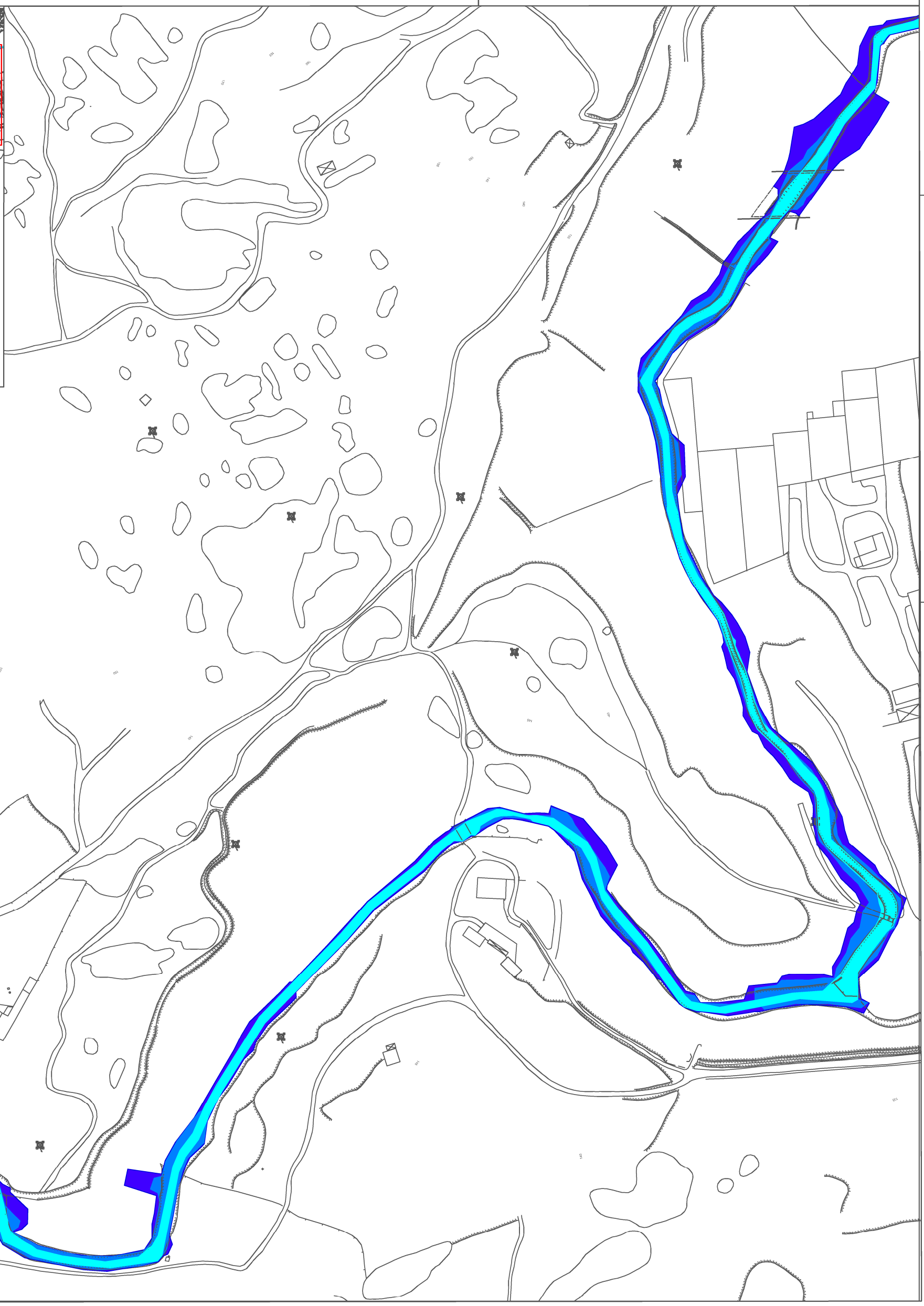
Designação Complementar:

Carta de zonas inundáveis

Legenda:

- Inundação para Tempo retorno=500 anos
- Inundação para Tempo retorno=100 anos
- Inundação para Tempo retorno =10 anos

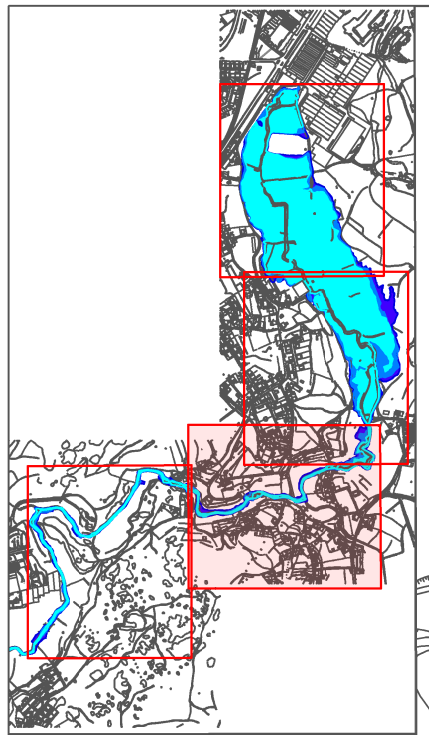




PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Legenda:

- Inundação para Tempo retorno =10 anos
- Inundação para Tempo retorno=100 anos
- Inundação para Tempo retorno=500 anos

Escala: 1/2.000	Designação: Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga
Autor: Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa	Designação Complementar: Carta de zonas inundáveis

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

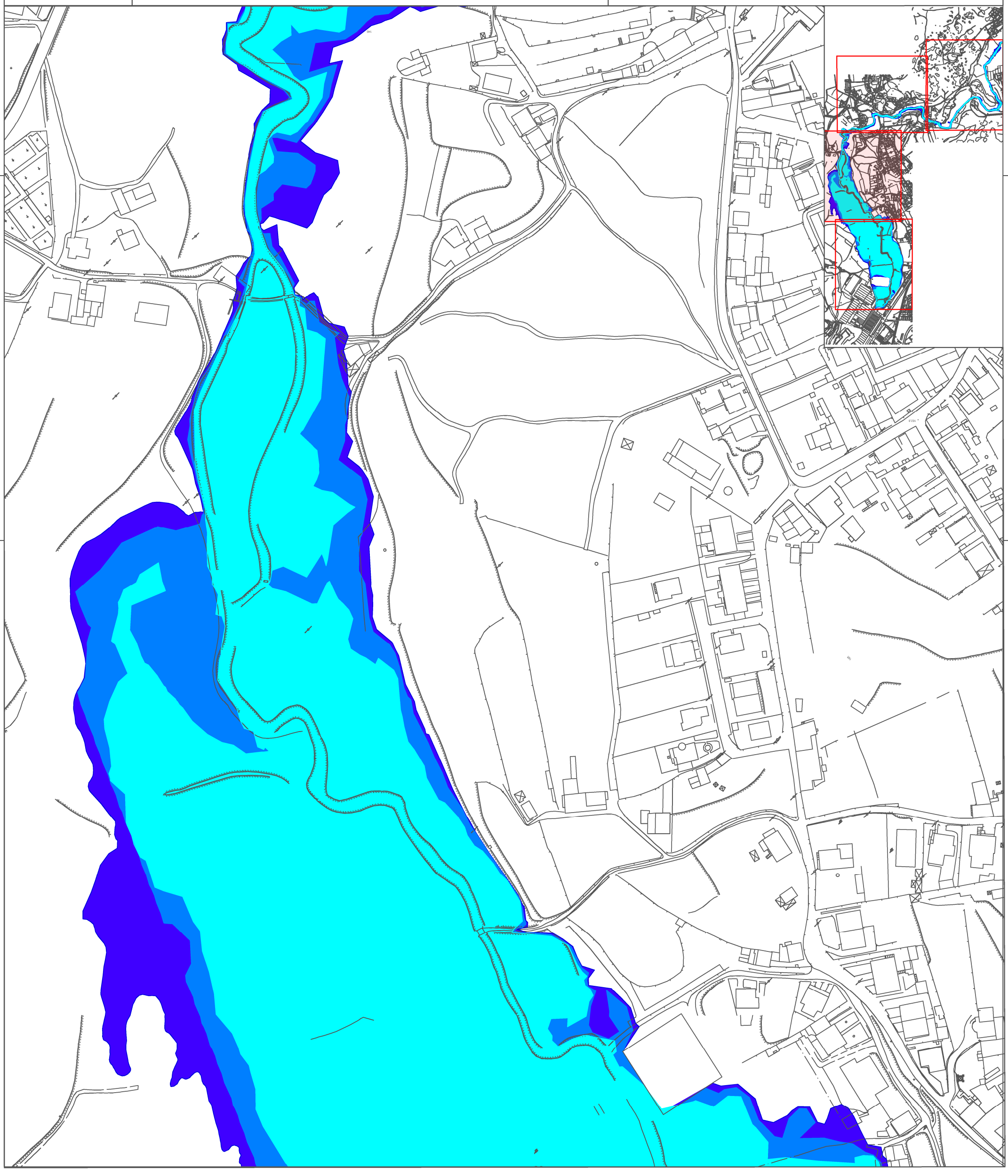
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala: 1/2.000	Designação: Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga
Autor: Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa	Designação Complementar: Carta de zonas inundáveis

Legenda:

- Inundação para Tempo retorno=500 anos
- Inundação para Tempo retorno=100 anos
- Inundação para Tempo retorno =10 anos



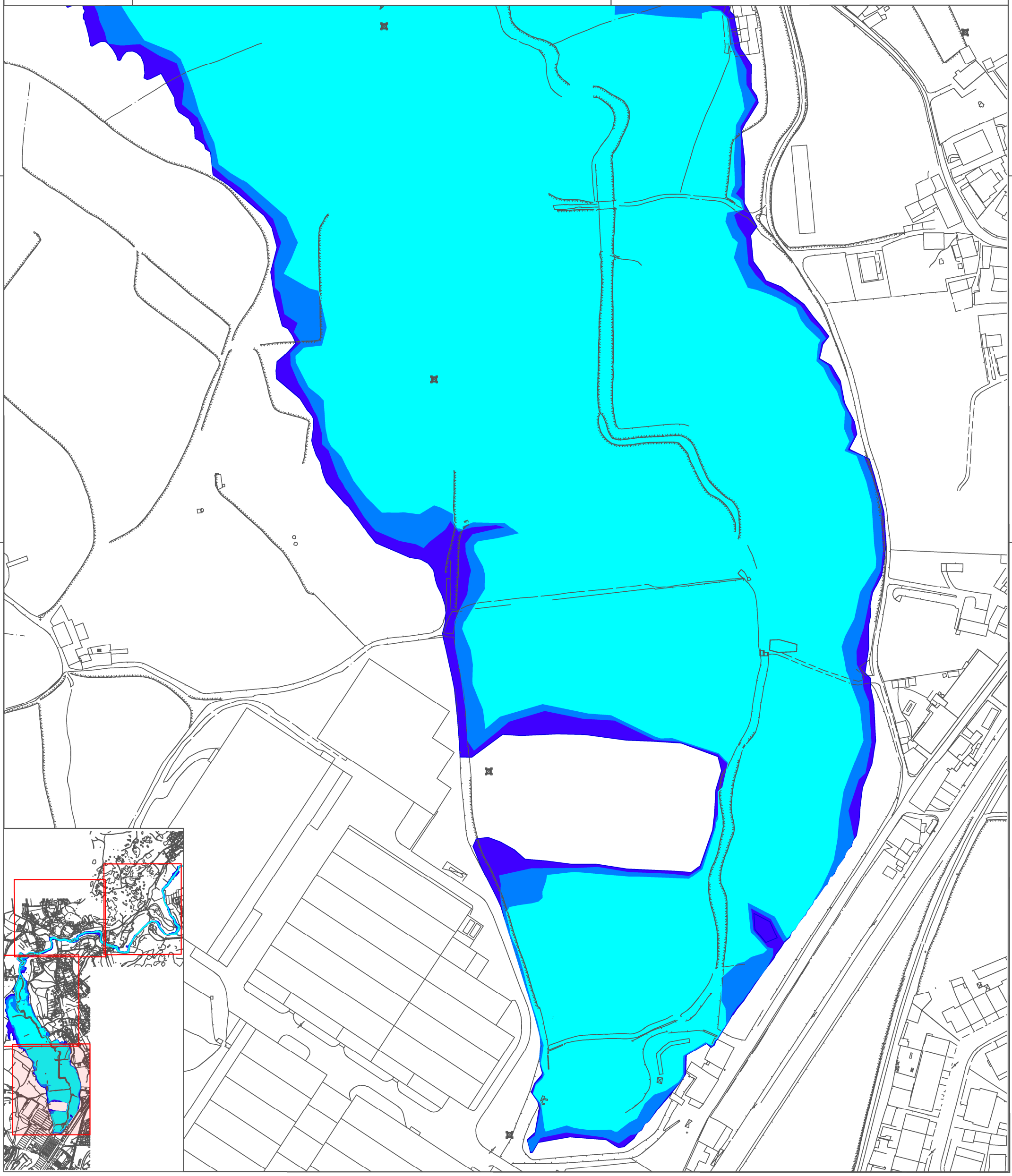
PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala: 1/2.000	Designação: Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga
Autor: Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa	Designação Complementar: Carta de zonas inundáveis

Legenda:

- Inundação para Tempo retorno=500 anos
- Inundação para Tempo retorno=100 anos
- Inundação para Tempo retorno =10 anos



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

A6

CARTAS DE RISCO DE INUNDAÇÕES

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala:

1/2.000

Designação:

Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga

Autor:

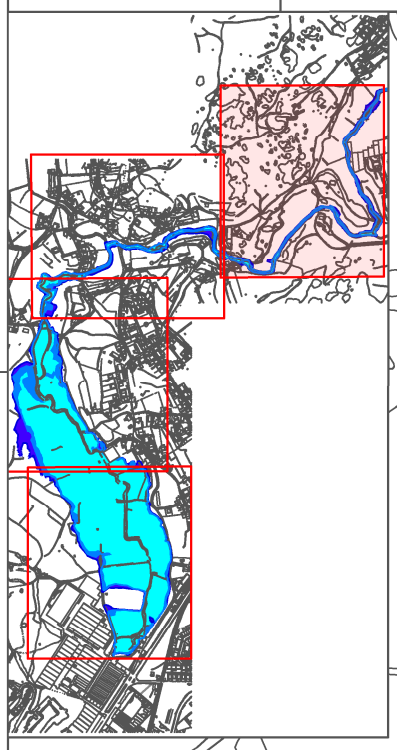
Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa

Designação Complementar:

Carta de riscos de inundações

Legenda:

- Inundação para Tempo retorno =10 anos
- Inundação para Tempo retorno=100 anos
- Inundação para Tempo retorno=500 anos
- Moinho ou Azenha Abandonada (Risco Baixo)
- Indústria (Risco Moderado)

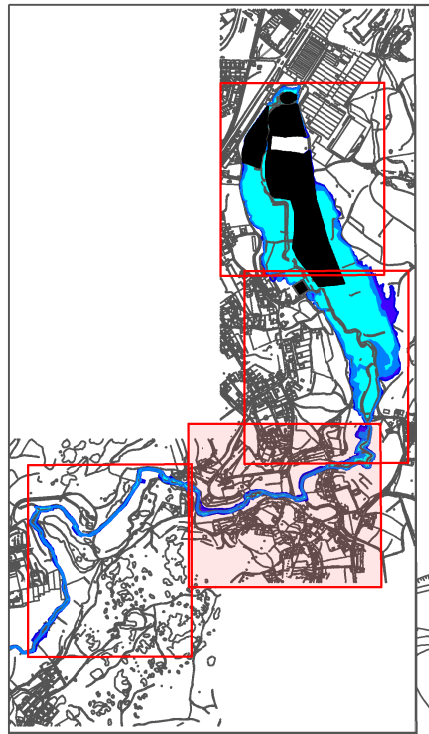


PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT



Legenda:

- Inundação para TR=10 anos
- Inundação para TR=100 anos
- Inundação para TR=500 anos
- Moinho ou Azenha Abandonada (Risco Baixo)
- Infraestrutura rodoviária (Risco Moderado)

Escala: 1/2.000	Designação: Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga
Autor: Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa	Designação Complementar: Carta de riscos de inundações

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala:

1/2.000

Designação:

Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga

Autor:

Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa

Designação Complementar:

Carta de riscos de inundações

Legenda:

- Inundação para TR =10 anos
- Inundação para TR=100 anos
- Inundação para TR=500 anos
- Indústria - Risco Extremo
- Habitação - Risco Moderado
- Moinho bandonado (Risco Baixo)
- Habitação Extremo Risco
- Aterro classificado como Risco Extremo



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

Escala:

1/2.000

Designação:

Troço em estudo entre Ferreiros e Celeirós - Braga

Autor:

Liliana Filipa Nunes Martins de Sousa

Designação Complementar:

Carta de riscos de inundações

Legenda:

- Inundação para TR =10 anos
- Inundação para TR=100 anos
- Inundação para TR=500 anos
- Aterro classificado como risco baixo
- Aterro classificado como risco extremo
- Edifício Sensível-Extremo Risco
- Habitação, moinho ou Azenha (Abandonada)
- Habitação Extremo Risco



PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT