

# METODOLOGIA PRÁTICA PARA DELIMITAÇÃO DE LEITOS DE CHEIA EM ZONAS ESTUARINAS. EXEMPLO DE APLICAÇÃO AO RIO NEIVA

## Practical methodology for delimitation of flood plain in estuarine areas. Application to the Neiva River

JULIANA MENDES <sup>(1)</sup> e RODRIGO MAIA <sup>(2)</sup>

<sup>(1)</sup> Aluna de Doutoramento, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, juliana@fe.up.pt

<sup>(2)</sup> Professor Associado, FEUP,  
Rua Dr. Roberto Frias, s/n, 4200-465 Porto, rmaia@fe.up.pt <sup>3</sup>

### Resumo

No presente trabalho é apresentada uma metodologia prática para avaliação dos níveis de superfície livre do escoamento em zonas estuarinas, correspondentes a caudais de cheia pré-estabelecidos. Esta avaliação foi efectuada com o auxílio de um modelo de escoamento linear (*HEC-RAS*), tendo sido considerada a influência marítima através da simulação do efeito da ocorrência de uma maré extraordinária estática, impondo como condição fronteira do modelo um nível fixo a jusante do troço em estudo. O desenvolvimento deste trabalho foi materializado pela aplicação da referida metodologia a um troço de cerca de 1500 m na foz do rio Neiva, onde se pretendiam delimitar as áreas de inundação correspondentes aos caudais de cheia com período de retorno de 10, 50 e 100 anos.

**Palavras-chave:** Escoamento fluvial, modelação hidráulica, áreas de inundação.

### Abstract

The current study presents a practical methodology for assessing the levels of free surface stream in estuaries, corresponding to pre-established flood flows. This assessment was carried out with the aid of a linear flow model (*HEC-RAS*), having considered the maritime influence by simulating the effect of the occurrence of a static extraordinary tide, imposing as model boundary condition a fixed water level downstream to the section under study. The development of this work was embodied through the application of the referred methodology to a stretch of 1500 m at the mouth of the Neiva river, with the goal of defining floodplains corresponding to flood flows with a return period of 10, 50 and 100 years.

**Keywords:** Fluvial stream, hydraulic simulation, floodplains.

### 1. Introdução

As cheias são fenómenos naturais extremos e temporários, associadas a aumentos do volume de precipitação numa determinada área da bacia hidrográfica, podendo ser ocasionadas por chuvadas moderadas de longa duração ou por chuvadas curtas de elevada intensidade. Estes eventos levam à ocorrência de caudais elevados nos cursos de água, provocando o extravasamento do leito normal e inundando os terrenos marginais.

Nos estuários, as condições marítimas exercem também grande influência sobre o nível da superfície livre do escoamento, devendo ser considerado o efeito das marés na avaliação dos níveis de cheia nestes locais.

Dado que, comumente as zonas adjacentes aos cursos de água e sobretudo às zonas estuarinas são fortes pólos de atracção turística e de ocupação humana, é essencial delimitar as zonas inundáveis, de modo a prever medidas de mitigação dos efeitos desses eventos, tendo em vista a protecção das pessoas e bens.

O mapeamento das áreas inundáveis deverá ser um elemento necessário a ter em conta no ordenamento do território, de modo a regular a ocupação e a utilização do domínio hídrico, evitando intervenções desadequadas, frequentemente resultantes de pressões urbanísticas.

O trabalho aqui apresentado foi elaborado no âmbito do “Estudo Hidráulico e Fluvial dos Rios Âncora, Coura e Neiva” (FEUP, 2010), que a FEUP desenvolveu para a Polis Litoral Norte - Sociedade para a Requalificação e valorização do Litoral Norte, S.A., tendo como objectivo o zonamento dos leitos de cheia nos três troços estuarinos para diferentes frequências de ocorrência, de forma a constituir elementos de base à realização de projectos de reabilitação fluvial e de valorização ambiental das margens adjacentes.

A metodologia adoptada neste trabalho é exemplificada neste artigo através da sua aplicação ao caso do rio Neiva, que compreende um troço de aproximadamente 1,5 km de corredor fluvial situado na foz deste rio - limite entre os concelhos de Viana do Castelo e de Esposende (Figura 1).



Figura 1. Troço de estudo: foz do rio Neiva.

## 2. Metodologia

### 2.1. Caudais de cheia

A fase inicial do trabalho consistiu na pesquisa e recolha dos elementos de base, nomeadamente das características fisiográficas da bacia hidrográfica e dos dados hidrometeorológicos correspondentes, como sejam, registos de precipitação, de caudais e de níveis hidrométricos e curvas de vazão.

Relativamente às suas principais características fisiográficas, a bacia do rio Neiva apresenta uma forma alongada e compreende uma área total de aproximadamente 240 km<sup>2</sup> com uma orientação WSW-ENE, sendo limitada a norte pela bacia do rio Lima e a sul pela bacia do rio Cávado (DGRN, 1990). O rio Neiva nasce a 720 m de altitude, na serra do Oural no concelho de Vila verde, e desagua no Oceano Atlântico entre o concelho de Esposende e o de Viana do Castelo, tendo um comprimento total de cerca de 46 km.

Quanto à disponibilidade de dados hidrometeorológicos, foram identificadas na base de dados do SNIRH quatro estações udométricas e uma estação hidrométrica, localizadas na bacia hidrográfica do rio Neiva (Figura 2).



Figura 2. Localização das quatro estações udométricas e da estação hidrométrica identificadas na bacia hidrográfica do rio Neiva (dados do SNIRH).

Se em relação à disponibilidade de dados pluviométricos a situação é razoável, o mesmo não acontece com os dados hidrométricos, uma vez que para além do facto de somente existir uma estação, existem grandes lacunas nos registos correspondentes.

Dada a insuficiência de registos hidrométricos para determinação dos caudais de cheia, numa primeira análise efectuou-se a estimativa destes valores através fórmula regional de Loureiro (específica para Portugal Continental) considerando tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos:

$$Q_p = C \cdot A^Z \quad [1]$$

em que  $Q_p$  - caudal de ponta de cheia (m<sup>3</sup>/s),  $Z$  o parâmetro relacionado com a localização geográfica da bacia hidrográfica,  $C$  o parâmetro regional relacionado com o período de retorno e  $A$  a área da bacia hidrográfica correspondente à secção em estudo (km<sup>2</sup>).

Dados os tipos de intervenções a efectuar junto ao rio Neiva no âmbito do programa de acções da Polis Litoral Norte (promotor do estudo), foram considerados tempos de retorno de 10, 50 e 100 anos.

Os resultados obtidos com a fórmula de Loureiro foram comparados com os valores dos caudais de cheia indicados no Plano de Bacia Hidrográfica do rio Lima (IA, 2000) (Quadro 1), os quais foram determinados a partir do modelo de simulação hidrológica HEC-1, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center (HEC)* do *US Army Corps of Engineers*.

Quadro 1. Caudais de cheia na foz do rio Neiva, obtidos através do cálculo pela fórmula de Loureiro e através do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lima (IA, 2000).

Período de retorno (anos)	CAUDAIS DE CHEIA (m <sup>3</sup> /s)		
	10	50	100
<b>Resultados obtidos com a fórmula de Loureiro</b>	313	434	493
<b>Dados do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lima</b>	195	330	430

A diferença dos métodos utilizados para o cálculo dos caudais de cheia indicados no Quadro 1 justifica as discrepâncias encontradas entre os valores.

A fórmula de Loureiro considera coeficientes deduzidos para bacias hidrográficas de uma dada área geográfica, cujo ajuste às reais características climatológicas, hidrológicas e geográficas específicas dos casos concretos em estudo pode não ser o mais adequado, enquanto os valores indicados nos Planos de Bacia terão sido obtidos de acordo com as características específicas das mesmas.

Por esta razão, optou-se por considerar, no decorrer do restante trabalho, os valores dos caudais de cheia indicados no Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Lima (IA, 2000).

## 2.2. Curvas de regolfo

A determinação dos níveis superfície livre, correspondentes aos caudais de cheia pré-estabelecidos, foi efectuada com o auxílio do modelo de escoamento HEC-RAS, desenvolvido pelo *Hydrologic Engineering Center (HEC)* do *US Army Corps of Engineers*. Este software é um modelo linear (1D), apropriado para simular o comportamento do escoamento em superfície livre de sistemas fluviais e canais artificiais, sendo a sua aplicação a zonas estuarinas uma aproximação de menor rigor para avaliar os níveis da superfície livre, devendo os resultados obtidos ser encarados em conformidade. Num estudo mais aprofundado da verdadeira influência marítima, no escoamento nessa zona, deveria ser usado um modelo sofisticado de simulação hidrodinâmica que levasse em conta o efeito das contra correntes geradas pelas marés e agitação marítima, no escoamento natural do rio.

Para iniciar a simulação do escoamento, foi necessário realizar uma série de tarefas de obtenção, preparação e fixação de dados a fornecer ao modelo, para a sua caracterização física e hidráulica.

A caracterização física do modelo de escoamento realizou-se através da definição do perfil longitudinal e de nove secções transversais ao longo do troço em estudo (Figura 3), tendo por base o levantamento topo-hidrográfico dessas secções transversais, complementado (na zona das margens) pela cartografia dos municípios da zona em estudo. Foi também necessário compatibilizar as cartografias dos dois concelhos num único mapa, acertando em função das duas escalas distintas, associadas à cartografia disponibilizada e utilizada pelos dois concelhos limitados pelo rio: escala 1/2000 no concelho de Esposende e escala 1/10000 no concelho de Viana do Castelo. Por este motivo, deverá salientar-se que na margem esquerda do rio o detalhe dos dados cartográficos é superior ao da margem direita, o que se repercutirá nos resultados do estudo adiante apresentados.

O sistema de cotas utilizado foi o Nivelamento Geral do País (NGP).

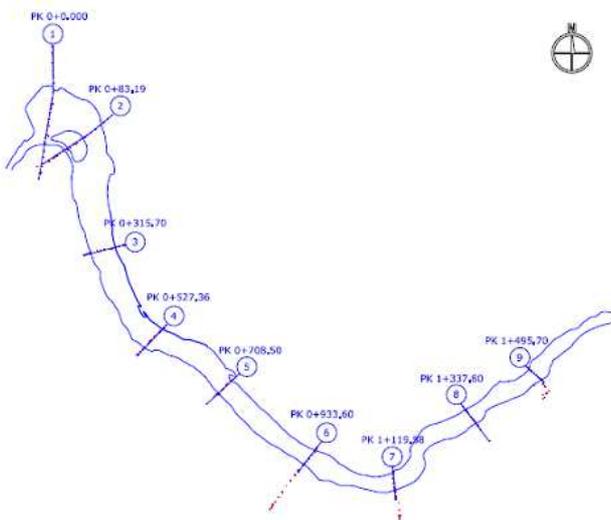


Figura 3. Traçado do troço fluvial em planta com as secções transversais consideradas (1 a 9).

A caracterização hidráulica envolveu a definição da condição fronteira do escoamento e dos valores dos coeficientes de rugosidade, que traduzem as características de resistência a esse mesmo escoamento no trecho do curso de água analisado.

Tratando-se de uma zona estuarina (escoamentos predominantemente lentos, e portanto controlados por jusante), admitiu-se uma condição fronteira a jusante, de modo a simular o efeito da ocorrência de uma maré extraordinária, impondo um nível a jusante (na secção 1, junto da foz do rio - Figura 3) igual a 3.00 m (correspondente à cota +5.00 em relação ao Z.H. (Zero Hidrográfico), ou seja, à cota +3.00 em relação ao NGP). Este nível foi considerado para uma situação de ocorrência simultânea de uma Preia-mar de Águas Vivas Equinocial e de uma maré meteorológica, acrescida de uma parcela de incerteza. Deste modo, foi considerada a ocorrência de uma maré extraordinária aquando de uma cheia fluvial. Note-se que existem fortes probabilidades de ocorrência de marés meteorológicas e caudais de cheia em simultâneo, dado que ambos dependem directamente de factores atmosféricos e climatéricos, que, com naturalidade, poderão ocorrer em simultâneo no mar e na bacia hidrográfica.

Também a definição da rugosidade hidráulica "n" é um passo importante para que o modelo simule com o maior realismo possível as curvas de regolfo geradas pelas cheias. Com o intuito de estimar valores de "n" razoáveis, recorreu-se a bibliografia da especialidade (Lencastre *et al.*, 1992) para obter um intervalo de valores a considerar para este parâmetro, em função das características dos trechos do rio em estudo.

O troço em estudo apresenta características de curso de água em planície, com traçado mais ou menos sinuoso, com alguma vegetação e pedras no leito e algumas zonas profundas e outras baixas. As margens (leito maior) são pouco urbanizadas, contendo vegetação ao longo da maioria da sua extensão, encontrando-se muito densa e com árvores em algumas zonas, e menos densa, noutras.

Dadas as características enunciadas, considerou-se o intervalo de valores de "n" médios para este troço (leito do rio e margens), compreendido entre  $0.045 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$  ( $K_s=22$ ) e  $0.065 \text{ m}^{-1/3\text{s}}$  ( $K_s=15$ ).

Executando várias simulações, efectuaram-se estudos da sensibilidade do modelo face a alterações deste parâmetro, entre o valor máximo e mínimo, de modo a obter a percepção do significado destas alterações nos resultados dos níveis de cheia. Os resultados do modelo face a alterações do coeficiente de rugosidade "n" são apresentados no Quadro 2, os quais definem as curvas de regolfo esquematizadas na Figura 4.

Da análise da Figura 4 (e/ou do Quadro 2) em que se representam as curvas de regolfo correspondentes às envolventes máxima e mínima expectáveis para cada um dos caudais de cheia em estudo, conclui-se que a influência que a variação de rugosidade pode gerar no nível da superfície livre da secção mais a montante é, na situação mais gravosa, de apenas 0,45 m, reduzindo-se essa influência de montante para jusante.

Quadro 2. Níveis da superfície livre do escoamento na foz do rio Neiva obtidos por modelação numérica (HEC-RAS), para os caudais de cheia correspondentes aos diferentes períodos de retorno, considerando os limites de variação admitidos para o coeficiente de rugosidade.

SECÇÃO	DISTÂNCIA À FOZ (m)	COTA DO TALVEGUE (m)	NÍVEL DA SUPERFÍCIE LIVRE DO ESCOAMENTO (m)					
			Q = 195 m³/s		Q = 330 m³/s		Q = 430 m³/s	
			n=0.045	n=0.065	n=0.045	n=0.065	n=0.045	n=0.065
9	1529.0	0.66	4.08	4.48	4.65	5.09	4.97	5.42
8	1363.7	1.12	3.97	4.35	4.54	4.97	4.87	5.29
7	1135.0	0.14	3.82	4.19	4.37	4.79	4.68	5.12
6	948.9	0.53	3.69	4.03	4.19	4.60	4.49	4.93
5	723.9	0.78	3.51	3.81	3.96	4.36	4.27	4.68
4	546.0	0.40	3.35	3.60	3.73	4.12	4.02	4.43
3	336.5	0.72	3.17	3.33	3.40	3.71	3.60	3.97
2	96.7	0.49	3.03	3.07	3.09	3.18	3.14	3.29
1	0.0	0.44	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00

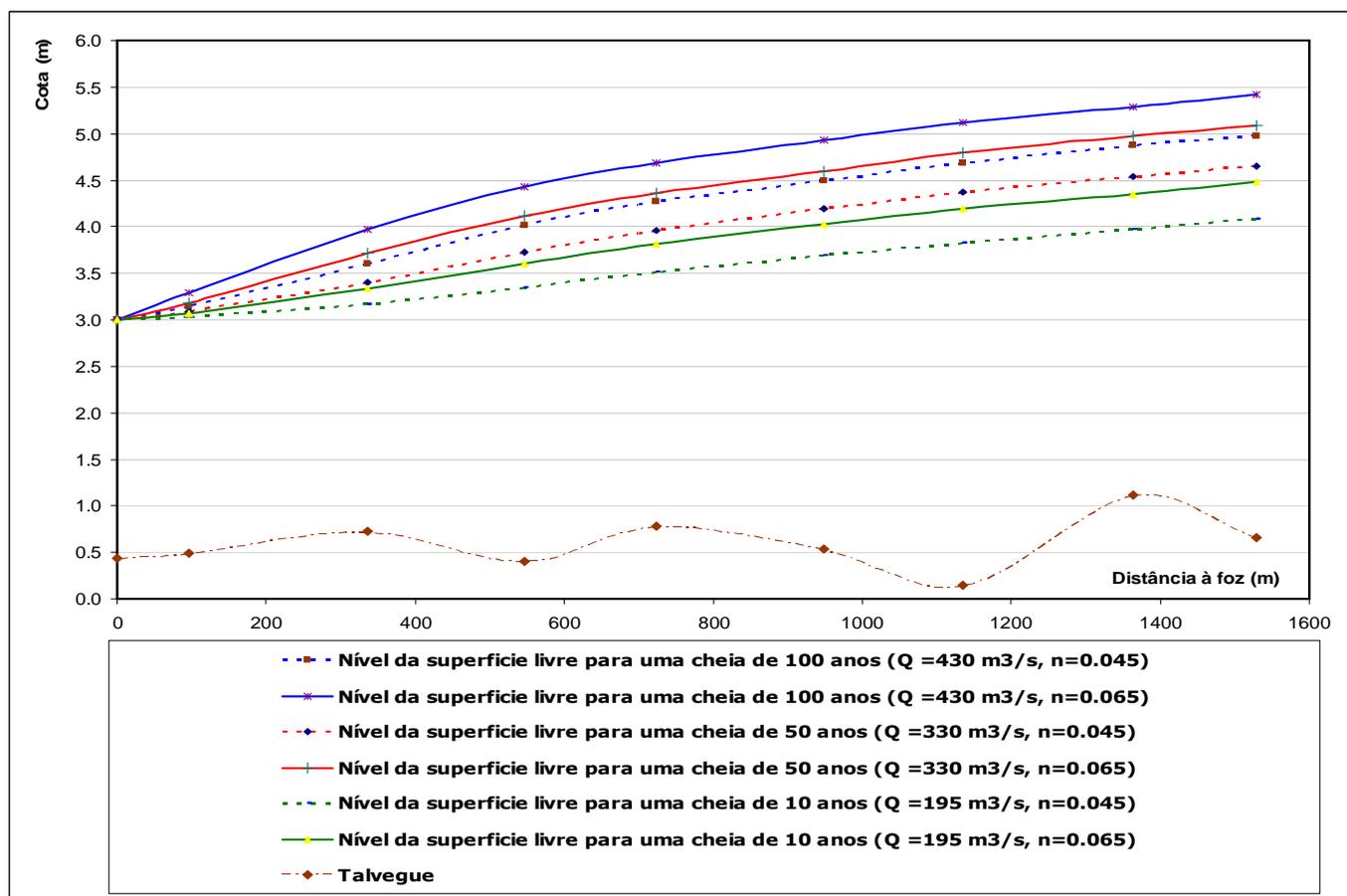


Figura 4. Rio Neiva: Linhas de regolfo obtidas para os caudais de cheia correspondentes aos diferentes períodos de retorno, considerando os limites de variação admitidos para o coeficiente de rugosidade (de acordo com os valores apresentados no Quadro 2).

### 2.3. Mapa de inundação

O mapeamento das áreas inundáveis foi elaborado recorrendo a um modelo digital do terreno produzido a partir da informação topográfica existente, tendo por base os resultados dos níveis obtidos por simulação hidráulica nas diferentes secções de cálculo, para os três períodos de retorno considerados.

Atendendo aos resultados relativamente próximos obtidos com a variação do parâmetro da rugosidade (Quadro 2), julgou-se razoável adoptar os valores máximos obtidos para os níveis de cheia para delimitar as áreas de inundação.

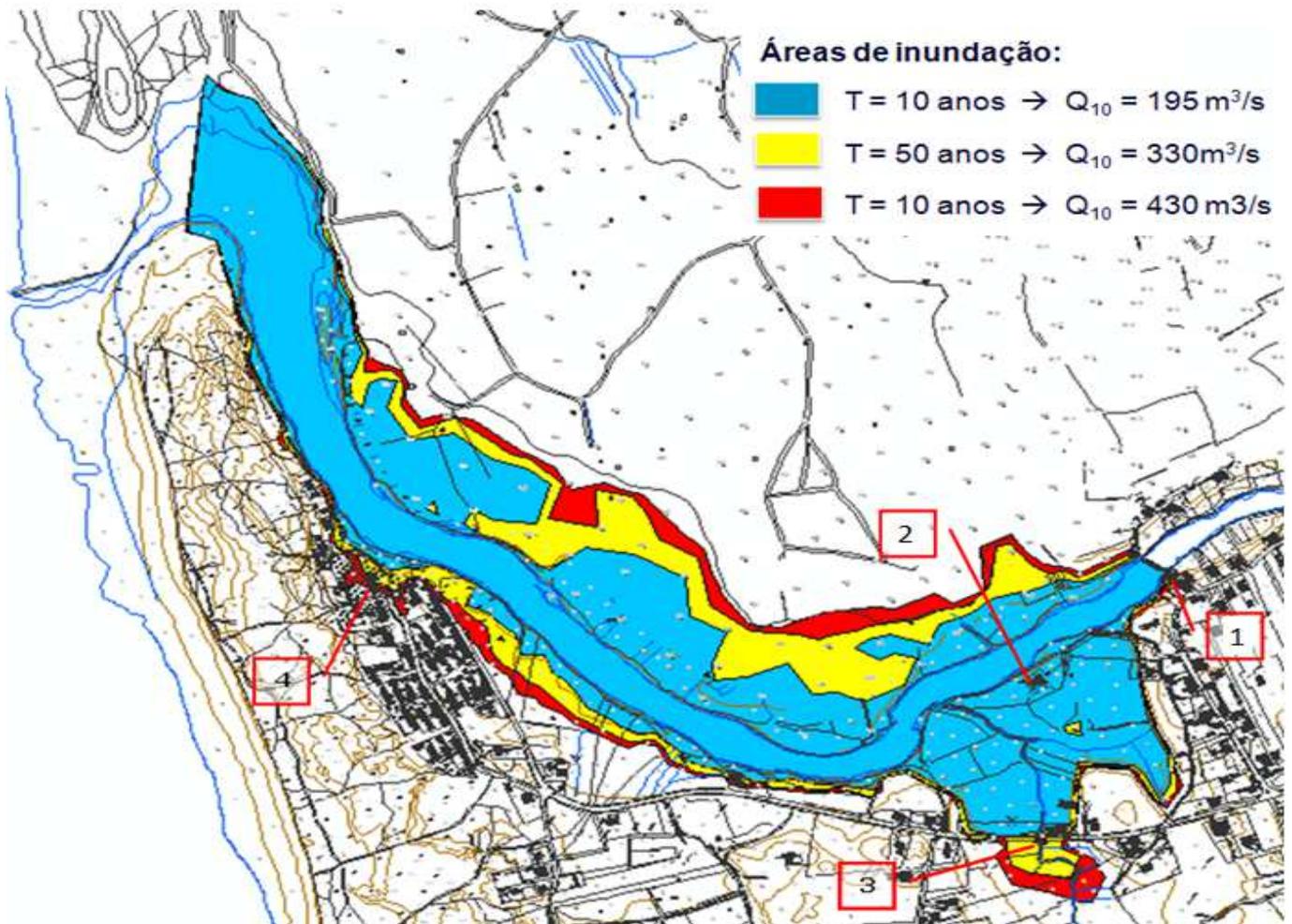


Figura 5. Representação das áreas inundáveis correspondentes às cheias para os diferentes períodos de retorno considerados.

Deste modo, foram delimitadas as áreas inundáveis para as cheias correspondentes aos tempos de retorno considerados: 10, 50 e 100 anos, representadas na Figura 5 a azul, amarelo e vermelho (as últimas como adicional à área de cheia de tempo de retorno inferior), respectivamente.

Pelo facto de não existirem registos de caudais e de níveis nos troços em estudo, ou curvas de vazão que pudessem ser utilizadas para calibrar o modelo e validar os resultados dos níveis obtidos por simulação hidráulica, tentou-se, na fase seguinte do estudo, recolher outros dados que pudessem validar o mapeamento das áreas de inundação delimitadas (Figura 5). Desta forma, foram realizadas visitas aos locais em estudo de modo a confirmar o mapeamento das inundações junto dos habitantes locais, procurando obter referências históricas e marcas indicativas dos níveis de água atingidos em cheias passadas.

Segundo a opinião das pessoas inquiridas na área de estudo do rio Neiva, o mapeamento das inundações, sobretudo na margem esquerda do rio, parece corresponder a situações reais. Para evidenciar estas situações foram apontados, na margem esquerda, quatro locais de referência (pontos 1 a 4 da Figura 5) onde foi possível identificar alguns níveis atingidos em cheias recentes, que se revelaram dados importantes para sustentação do mapa de inundação apresentado.

O local indicado com o número 1 situa-se na extremidade de montante da área de estudo, junto à Capela de Santa Tecla.

Nesse local existe uma construção muito próxima do rio e do açude aí existente, que foi outrora uma azenha de serração de madeira, e que posteriormente foi convertida em habitação (Figura 6). Segundo a moradora, a ocorrência de inundações nesta casa é frequente e, apesar das janelas e aberturas existentes do lado do rio para o interior da casa estarem a uma cota relativamente elevada em relação ao nível normal do rio (2 a 3 m), em situações de cheia, a água chega mesmo a entrar no seu interior. Em 2001, a água chegou a cerca de 20 cm acima da varanda que se situa do lado do rio, entrando na casa através da janela aí existente.

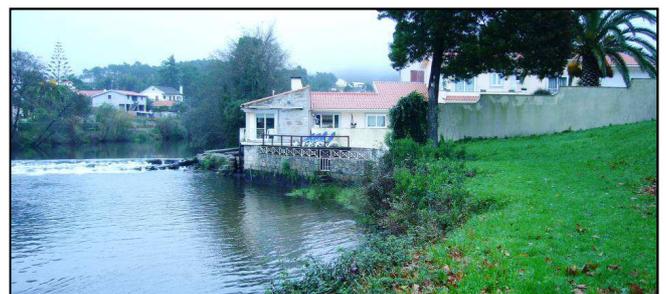


Figura 6. Fotografia da margem esquerda do rio Neiva junto à capela de Santa Tecla (ponto de referência 1 indicado na Figura 5).

O local 2 corresponde a uma moradia existente a cerca de 10 m da linha de água (Figura 7), que é também recorrentemente inundada. No início de Março deste ano (2010), a água do rio inundou esta casa e as áreas circundantes, incluindo os acessos existentes, levando mesmo a que os proprietários tivessem de ser retirados pelos bombeiros.



Figura 7. Fotografia da moradia existente na margem esquerda do rio Neiva junto à confluência com a ribeira da Cividade (ponto de referência 2 indicado na Figura 5).

Os locais assinalados com os números 3 e 4 localizam-se junto à Rua Foz do Neiva e terrenos adjacentes à mesma, constituindo dois pontos baixos desta estrada. O primeiro local (3) corresponde a um troço junto à ribeira da Cividade e à ETA da Guilheta, local este mais afastado do rio, e o segundo local (4) ao troço final da referida estrada, onde se inicia o acesso à praia, através das dunas. De acordo com as informações recolhidas, estes locais não são inundados com muita frequência, mas em situações conhecidas de grandes cheias, como a de 2001, em ambos os locais (3 e 4), o nível da água atingiu a cota da estrada, embora tenha sido inundada apenas a cave de uma casa existente junto à ribeira da Cividade, no local 3.

Relativamente à margem direita, não foi possível confirmar nesta área o mapeamento das cheias, por se tratar de uma zona ocupada apenas por campos agrícolas, facto que dificultou o contacto com os proprietários desses terrenos durante as visitas efectuadas ao local. Desta forma, o mapeamento das cheias na margem direita não pôde ser validado por testemunhos locais.

Para além deste aspecto, deverá salientar-se ainda que a precisão do mapeamento das áreas inundadas na margem direita é menor que na margem esquerda, devido à cartografia utilizada de Viana do Castelo ser menos detalhada que a de Esposende.

### 3. Conclusões

Com os resultados das auscultações efectuadas pode concluir-se que o mapeamento das zonas inundáveis (Figura 5) é bastante verosímil, sobretudo na margem esquerda, onde foi possível obter dados para validação.

A precisão do mapeamento das áreas inundáveis depende também do detalhe da cartografia de suporte. Por esta razão, deverá ser considerado que o rigor do mapeamento apresentado é maior na margem esquerda (concelho de Esposende) do rio Neiva.

A metodologia apresentada neste trabalho para delimitação dos leitos de cheia no estuário do rio Neiva foi aplicada também aos estuários dos rios Âncora e Coura, tendo-se obtido bons resultados para os três casos de estudo, quando confrontados os mapas de inundação com os registos e testemunhos das populações locais. Deste modo pode concluir-se que a metodologia e ferramentas adoptadas se revelaram satisfatórias para concretização dos objectivos do estudo.

### Referências

- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*, McGraw-Hill Co. New York;
- DGRN (1990). *Monografias das Bacias Hidrográficas do Norte de Portugal. A Bacia Hidrográfica do Rio Neiva*, Projecto de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos do Norte, Direcção Geral dos Recursos Naturais, Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais;
- FEUP (2010). *Estudo Hidráulico e Fluvial dos Rios Âncora, Coura e Neiva (Relatório Final)*, Prestação de Serviços à polis Litoral Norte - Sociedade para a Requalificação e Valorização do Litoral Norte, S.A., Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto;
- HEC-RAS (2010). *Homepage do US Army Corps of Engineers*, <http://www.hec.usace.army.mil/software/hecras/hecras-document.html>, [Março 2010];
- IA (2000). *Plano de Bacia Hidrográfica do rio Lima. 1ª fase - Análise e Diagnóstico da Situação de Referência / 1ª Fase - Volume I - Síntese*, Instituto da Água, Ministério do Ambiente, DRA Norte;
- Lencastre, A., Franco, F.M. (1992). *Lições de Hidrologia*, Universidade Nova de Lisboa - Faculdade de Ciências e Tecnologia;
- Oliveira, V., Alves, M. (2007). *O Ambiente Fluvial. Perspectiva Geomorfológica e Sedimentológica. Exemplos na bacia do rio Neiva*, Tese de Mestrado em Ciências do Ambiente, Ramo Qualidade Ambiental, Universidade do Minho;
- SNIRH (2010), *Homepage do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*, Instituto da Água, <http://snirh.pt/>, [Março 2010];
- SPLN (2009). *Intervenção de Requalificação e valorização do Litoral Norte. Plano Estratégico. Sociedade Polis Litoral Norte S.A., Parquexpo, Litoral Norte - Polis Litoral.*