



**RISCOS**

**ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE RISCOS, PREVENÇÃO E SEGURANÇA**

**MULTIDIMENSÃO  
E  
TERRITÓRIOS DE RISCO**

**III Congresso Internacional  
I Simpósio Ibero-Americano  
VIII Encontro Nacional de Riscos**

**Guimarães  
2014**

## NOVAS MEDIDAS ESTRUTURAIS PARA DIMINUIÇÃO DO RISCO HIDROLÓGICO NO FUNCHAL

**A. Betâmio de Almeida**

Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos (DECivil), I.S.T  
betamio.almeida@ist.utl.pt

**Sérgio Lopes**

Gabinete de Estudos e Serviços de Hidráulica/  
Direção Regional de Infraestruturas e Equipamentos  
sergiolopes.vp@gov-madeira.pt

### RESUMO

A área do Funchal é ocupada maioritariamente por três bacias hidrográficas, orientadas no sentido norte-sul: as ribeiras de São João, de Santa Luzia e de João Gomes. As suas características biofísicas, designadamente área, rede de drenagem e relevo, assim como a disponibilidade de material sólido, concorrem para explicar o elevado grau de perigosidade natural das cheias (aluviões), desencadeadas por episódios de precipitação intensa e de curta duração, nalguns casos associados a antecedentes de precipitação continuada. O risco hidrológico é elevado na medida em que o sector inferior das três bacias hidrográficas coincide com o centro urbano do Funchal, por onde os seus cursos de água principais correm até ao mar. Nestas bacias a cheia é um fenómeno complexo, em que, ao escoamento de água se junta uma mistura de detritos variados, desde partículas muito pequenas, até blocos rochosos de grandes dimensões, daí a designação local de aluvião.

Na tentativa de reduzir a perigosidade natural das ribeiras, em particular depois do evento catastrófico de 20 Fevereiro de 2010 e no âmbito do estudo de avaliação do risco de aluvião, que lhe sucedeu<sup>1</sup>, foram propostas medidas estruturais de redução do risco para diferentes troços fluviais. Para controlar o transporte de material sólido no troço intermédio dos cursos de água principais, a montante das áreas urbanizadas, propôs-se a implementação de estruturas transversais ao leito das ribeiras de retenção de material sólido, prevenindo-se desta maneira, a redução do transporte de carga de fundo a jusante, bem como a minimização da ação hidráulica erosiva, resultante da passagem do caudal sólido nos troços urbanos regularizados. Por seu lado, para o troço terminal das ribeiras do Funchal, as soluções alcançadas foram balizadas pelo objetivo de fazer aumentar a velocidade do escoamento, de modo a promover o transporte fluvial da carga sólida.

**Palavras-chave:** ribeiras do Funchal, aluvião, soluções hidráulicas estruturais.

### Introdução

Os fatores de escoamento das bacias hidrográficas do Funchal são determinantes para explicar o seu elevado grau de perigosidade hidrológica, salientando-se o relevo vigoroso, marcado pela profunda incisão dos vales, de fundo estreito, a pequena dimensão das bacias hidrográficas (13/14 km<sup>2</sup>), de forma alongada, com cursos de água principais de comprimentos curtos (10/11 km) e tempo de concentração baixo (< 2 horas). Tendo presente estes fatores e as causas das cheias de natureza climática e geomorfológica, foram estudadas e propostas (SRES, 2010a) novas soluções estruturais, cuja fundamentação e características aqui se descrevem sucintamente.

As cheias rápidas ou aluviões correspondem a eventos de escoamento fluvial turbulento, desencadeados por episódios de precipitação intensa e de curta duração, nalguns casos associados a antecedentes de precipitação continuada. Da análise das aluviões ocorridas nas últimas décadas verifica-se que os respetivos valores de precipitação apresentam períodos de

<sup>1</sup> Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões na Ilha da Madeira (2010), elaborado por uma equipa do IST, Universidade da Madeira e Laboratório Regional de Engenharia Civil (SRES, 2010a).

retorno relativamente baixos. A ocorrência duma chuva diária de cerca de 200 mm nas zonas montanhosas, suscetível de originar uma aluvião, corresponde a um período de retorno de apenas 5 anos, o que demonstra que a sua probabilidade de ocorrência é relativamente alta. Uma das características do escoamento misto nos cursos de água de montanha, como é o caso, relaciona-se com a existência de pesadas cargas sólidas transportadas por tração/arrastamento e/ou por escoada detritica (debris flow), que faz deste tipo de cheias um fenómeno de grande complexidade e perigosidade, cujo controlo pressupõe uma abordagem mais integrada de prevenção à escala da bacia hidrográfica.

As ações que reduzem ou eliminam o risco de aluvião para pessoas, bens e propriedades podem ser do tipo não estruturais e estruturais, sendo que as duas devem ser implementadas de forma integrada. As primeiras englobam medidas de conservação e uso do solo, o ordenamento do território, e a implementação de sistemas de prevenção e alerta e de seguros (Ramos, 2009), ao passo que as medidas estruturais correspondem a intervenções de engenharia de controlo dos processos de produção, transporte e deposição da carga sólida transportada pelos cursos de água, de entre as quais se destacam as de retenção de material sólido, em particular no curso de água principal. Soluções deste tipo já foram aplicadas em diversas regiões, com características geológicas e geomorfológicas semelhantes às da ilha da Madeira, das quais se refere os estrados de drenagem inferior, as redes deformáveis e as barreiras de retenção (Takahashi, 2007; Mizuyama, 2008).

#### **As soluções propostas para as ribeiras do Funchal**

As soluções propostas para as ribeiras do Funchal assentam numa estratégia integrada que visa, por um lado reduzir o volume e a dimensão do material sólido mobilizado até ao troço terminal das linhas de água e, por outro, minimizar os efeitos da ação hidráulica resultante da passagem dos caudais de cheia nos troços urbanos regularizados.

#### ***As barreiras de retenção de material sólido***

No que se refere às soluções para a travagem das aluviões foi proposta a implantação no leito das ribeiras de barreiras fendidas ou açudes, que correspondem a estruturas descontínuas, constituídas por pilares igualmente espaçados, que se apoiam sobre um maciço de fundação assente no leito rochoso, ou na ausência deste, em estacas, cuja profundidade depende da maior ou menor espessura das aluviões nos locais de implantação. Em cada uma das três ribeiras principais do Funchal foi projetado construir 4 barreiras de retenção, o que no conjunto perfaz um total de 12 estruturas. As suas características encontram-se resumidas no **quadro i**.

Tendo por base o princípio da retenção seletiva da componente sólida do escoamento fluvial, o afastamento entre pilares diminui dos açudes de montante para os de jusante, de modo a assegurar a retenção progressiva do caudal sólido em função da sua dimensão, com os blocos com maior potencialidade destrutiva a ficarem retidos logo no primeiro açude de montante. Nas ribeiras de João Gomes e de Santa Luzia o afastamento é de 2 m no açude de montante, diminuindo para 1 m no último de jusante, enquanto na ribeira de São João o afastamento é maior no primeiro açude de montante (quadro i). Na **figura i** apresenta-se o exemplo de umas das barreiras fendidas construída na ribeira de Santa Luzia. O volume de retenção depende principalmente da sua localização, da tipologia adotada e do dimensionamento estrutural. A capacidade máxima de retenção das respetivas bacias de retenção dos 4 açudes é de 66 700 m<sup>3</sup> na ribeira de João Gomes, 68 250 m<sup>3</sup> na ribeira de Santa Luzia e 94 000 m<sup>3</sup> na ribeira de São João

(quadro i). A manutenção destas infraestruturas inclui a remoção dos materiais detriticos acumulados nas respetivas bacias de retenção, principalmente na sequência da ocorrência de cheias rápidas de grande magnitude, de modo a preparar a estrutura para a próxima aluvião, garantindo assim a sua operacionalidade.

#### ***As intervenções na foz das três ribeiras***

As intervenções na foz das três ribeiras do Funchal têm por objetivo melhorar as condições de vazão de desembocadura. Para o efeito, e tendo em conta as condicionantes urbanísticas nas margens fluviais, os cursos de água foram aprofundados alargados e reposicionados, procurando suavizar o traçado curvilíneo de alguns troços.

#### ***A junção das fozes das ribeiras de João Gomes e Santa Luzia***

O troço terminal da ribeira de Santa Luzia, de traçado curvilíneo, tem sido particularmente afetado por várias aluviões nas últimas décadas, sendo que as situações de transbordo são mais frequentes na margem esquerda côncava. Esta configuração contribui para a diminuição da velocidade do escoamento, que também é influenciada pela diminuição do declive do leito, tal como acontece no troço final da ribeira de João Gomes, condicionantes que, conjugadas com a limitação da altura máxima do canal de escoamento (quadro ii), tendem a promover o assoreamento e o conseqüente transbordo.

Admitindo a coincidência temporal dos caudais de ponta de cheia e tempos de concentração de ambas as bacias semelhantes, a solução proposta para resolver os problemas atrás mencionados consiste no prolongamento dos alinhamentos dos dois leitos provenientes de montante, com a suavização das mudanças de direção, até ao ponto de encontro desses alinhamentos, a partir do qual é criado um leito único, que é prolongado pelo mar dentro, numa extensão de 75 m a partir do passeio pedonal da Avenida do Mar. No quadro ii são indicadas as características das diferentes seções de vazão antes e depois da intervenção. A intervenção inclui a construção de uma rampa de acesso junto ao ponto de encontro das duas linhas de água, de modo a facilitar as operações de limpeza da foz.

#### ***Regularização do troço terminal da ribeira de São João***

O troço final da ribeira de São João ficou totalmente obstruído na cheia de 20 de Fevereiro de 2010. A cobertura da ribeira, o seu afinilamento e o fraco declive longitudinal, associado a um fundo irregular foram os principais fatores responsáveis pelo entupimento e assoreamento total do troço terminal da ribeira, causando o levantamento e destruição da laje vigada, por pressão hidráulica, à entrada do segmento coberto. A solução de regularização proposta procura minimizar os segmentos cobertos, aprofundar o canal de escoamento para assegurar níveis máximos de escoamento e aumentar a capacidade de transporte de material sólido. A intervenção de reabilitação abrange o troço terminal numa extensão de 240 m, no qual foram uniformizadas as dimensões da seção de vazão, garantindo uma largura de 11 metros. Parte deste troço foi reposicionado, com novo alinhamento de 90 m de comprimento. A ribeira é prolongada em 30 m pelo mar dentro, com o objetivo manter a velocidade do escoamento por confinamento lateral.

#### **Conclusão**

As medidas estruturais que conduzam a uma atenuação da produção e a uma retenção significativa da fração mais perigosa do material sólido das aluviões, a montante de zonas

sensíveis ou vulneráveis, são particularmente importantes no âmbito da gestão do risco de inundações num território de elevada suscetibilidade às cheias rápidas como o da Madeira.

**Quadro I - Características gerais das barreiras de retenção de material sólido, construídas nas ribeiras do Funchal.**

	Código	Altitude do leito do c.a. (m)	Largura do açude (m)*	N.º pilares/aberturas	Altura / espessura dos pilares (m)	Afastamento entre pilares (m)	Capacidade máxima de retenção da bacia (m <sup>3</sup> )
Ribeira de João Gomes	JG4	210	51,15	5 / 6	8 / 1,5	2	13 400
	JG3	195	58,90	10 / 11	8 / 1,5	2	23 050
	JG2	177	49,55	5 / 6	8 / 1,5	1,6	14 800
	JG1	157	44,45	5 / 6	8 / 1,5	1	15 450
Ribeira de Santa Luzia	SL4	736	60,30	10 / 11	10 / 1,75	2	11 150
	SL3	698	50,00	9 / 10	10 / 1,75	2	11 150
	SL2	639	62,25	10 / 11	10 / 1,75	1,6	24 150
	SL1	612	66,05	15 / 16	10 / 1,75	1	21 800
Ribeira de São João	SJ4	788,50	81,3	15 / 16	10 / 1,10	3,7	17 500
	SJ3	710	97,7	14 / 15	10 / 1,10	2,1	35 000
	SJ2	661	94,2	28 / 29	10 / 0,90	1,5	33 500
	SJ1	529	43,9	10 / 11	8 / 0,90	1,0	8 000

\* à cota do coroamento, incluindo a largura da seção aberta e dos encontros.

Fonte: DRIE-GESH.

**Quadro II - Parâmetros das seções de vazão antes e depois da intervenção de junção das fozes das ribeiras de Santa Luzia e João Gomes.**

	Seção de vazão	
	Altura (metros)	Largura (metros)
Ribeira de Santa Luzia a montante da Avenida do Mar	Antes: 5,5 a 4 Depois: 7	Antes: topo (14), base (12) Depois: 14
Ribeira de João Gomes a montante da Avenida do Mar	Antes: 5,5 a 4 Depois: 7	Topo (10), base (9) Depois: 10
Ribeira de Santa Luzia sob Avenida do Mar	3	12
Ribeira de João Gomes sob Avenida do Mar	3	9
<b>Segmento terminal leito comum</b>	<b>7</b>	<b>24</b>



**Figura 1 - Exemplo de uma das barreiras fendidas construídas na ribeira de Santa Luzia, identificada no quadro i com a sigla SL1.**

**Fonte: DRIE-GESH.**

### **Bibliografia**

- Mizuyama T (2008) Structural Countermeasures for Debris Flow Disasters. International Journal of Erosion Control Engineering, Volume Vol. 1, No. 2, pp. 38-43.
- Ramos C (2009) Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de Unidade Curricular do 2º ciclo). SLIF- 6, Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, Lisboa, 96p. ISBN: 978-972-636-195-4.
- SRES (2010a) Estudo de Avaliação do Risco de Aluviões da Ilha da Madeira - Relatório Síntese, Instituto Superior Técnico, a Universidade da Madeira e o Laboratório Regional de Engenharia Civil.
- Takahashi T (2007) Debris Flow. Mechanics, Prediction and Countermeasures. Taylor & Francis Group. London, UK.