



GESTÃO DO RISCO NOS VALES A JUSANTE DE BARRAGENS\*

Teresa Viseu

Departamento de Hidráulica e Ambiente, Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
[tviseu@lnec.pt](mailto:tviseu@lnec.pt)

António Betâmio de Almeida

Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa  
[aba@civil.ist.utl.pt](mailto:aba@civil.ist.utl.pt)

RESUMO

Em Portugal existe um grande número de pessoas a residir em vales a jusante de barragens. Assim, o desenvolvimento de metodologias para apoio à gestão integrada do risco nestes vales é de grande interesse prático para a protecção da população. O presente artigo divide-se essencialmente em duas partes. A primeira parte é dedicada à avaliação do risco que surge na sequência das cheias induzidas por acidentes nas barragens. A segunda parte versa sobre a mitigação do risco, através de um planeamento de emergência: interno, a nível da barragem, e externo, a nível do vale a jusante.

**Palavras chave:** Rotura de barragens, gestão do risco, plano de emergência.

RESUMEN

*Gestión del riesgo en los valles aguas abajo de presas* - En Portugal, un gran número de personas residen en los valles aguas abajo de presas. Así, el desarrollo de metodologías para la gestión integrada del riesgo en estos valles es una cuestión de gran interés práctico para la seguridad de la población. El presente artículo está dividido en dos partes. La primera se relaciona con la evaluación del riesgo de avenidas que resultan de la ruptura de presas. La segunda versa la mitigación del riesgo a través del planeamiento de emergencia: interno, para la presa, y externo, para el valle aguas abajo.

**Palabras clave:** Ruptura de presas, gestión del riesgo, plan de emergencia.

RESUMÉ

*Gestion du risque dans les vallées en aval des barrages* - Au Portugal, un nombre expressif de personnes habitent en aval de barrages. En conséquence, le développement de méthodologies en rapport avec la gestion du risque dans les vallées en aval se prouve d'un grand intérêt pratique, pour la sécurité des populations. Cet article se divise en deux parties: la première partie est dédiée à l'évaluation du risque associé aux crues, provoquées par la rupture des barrages; la deuxième partie est centrée sur les actions de mitigation ou de contrôle du risque, plus exactement sur les plans d'intervention en cas d'urgence: plan interne, au niveau du barrage ; plan externe, au niveau de la vallée en aval.

**Mots-clé:** Rupture de barrages, gestion du risque, plan particulier d'intervention.

ABSTRACT

*Risk management in dams downstream valleys* - An important percentage of the Portuguese population lives in dam-break flood prone areas. Thus the development of methodologies to support dam flood risk management is a practical issue for the public safety. This article is divided in two main areas. First, the assessment of the risk induced by dam-break-floods. The second part of the article is focused on the risk mitigation involving emergency planning: internal emergency planning, at the dam level, and external emergency planning, at the downstream valley.

**Key words:** Dam failure, risk management, emergency action plan.

\* O texto deste artigo corresponde à comunicação apresentada ao II Congresso Internacional de Riscos e VI Encontro Nacional, tendo sido submetido para revisão em 14-06-2010, tendo sido aceite para publicação em 12-08-2010. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 18, 2011, © Riscos, ISBN: 0872- 8941.

## Introdução

Um acidente envolvendo a rotura de uma barragem é um exemplo paradigmático de um tipo de acidente tecnológico muito pouco frequente mas com consequências potenciais muito significativas no vale a jusante.

A frequência dos acidentes associados a grandes barragens tem diminuído ao longo do tempo em resultado da melhoria nos conhecimentos científicos e tecnológicos e do controlo da qualidade e da segurança, respectivamente nas fases de projecto, construção e de exploração. Como ordem de grandeza pode indicar-se o valor de  $10^{-4}$  para a frequência anual média de rotura de grandes barragens. No caso de uma barragem nova, a probabilidade estimada é tipicamente da ordem de  $10^{-6}$ . É de salientar que cada barragem pode ser considerada como um caso isolado com factores de risco e características próprias que a diferenciam de outras situações.

Identificar o perigo envolvido, por exemplo deteriorações possíveis na barragem que conduzam à sua rotura parcial ou total, e realizar a propagação da onda de cheia correspondente são análises relacionadas com a avaliação do risco e constituem respostas “racionais” ao facto de os vales a jusante de barragens poderem eventualmente vir a sofrer o impacto de cheias de muito elevada magnitude. Uma introdução geral deste tópico pode ser encontrada na bibliografia da especialidade (A.B. ALMEIDA *et al.*, 1997, T. VISEU *et al.*, 2009).

O risco que afecta o vale a jusante de barragens pode ser traduzido pela probabilidade de ocorrência de um evento adverso  $P(\text{Evento})$ , uma cheia extraordinária, por exemplo, combinada com a probabilidade de rotura dada a ocorrência desse evento  $P(\text{rotura}|\text{Evento})$ . Assim, no caso específico das barragens, a expressão mais geral que se coaduna para a quantificação do risco será do tipo:

$$R_{\text{vale}} = P(\text{Evento}) \times P(\text{rotura}/\text{Evento}) \times \text{consequências devido à rotura} \quad (\text{Eq. 1})$$

Em rigor, as consequências também estão sujeitas a incertezas e a probabilidades de ocorrência, pelo que, mais recentemente, alguns autores tornam a Eq. 1 mais geral e mais completa no que concerne a determinação do risco efectivo no vale e acrescentam-lhe a probabilidade de ocorrência de perdas, uma vez ocorrida a rotura. Assim, estes autores avaliam o risco no vale a jusante, com base simultaneamente no risco interno da barragem e no risco externo do vale a jusante, para um dado evento actuando no sistema da barragem (A.B. ALMEIDA *et al.*, 2003):

$$R_{\text{vale}} = P(\text{Evento}) \times P(\text{rotura}/\text{Evento}) \times P(N/\text{rotura}) \times N \quad (\text{Eq. 2})$$

Na Eq. 2,  $N$  representa as perdas, ou seja, por exemplo, o número total de vidas em exposição.  $P(N/\text{rotura})$  é a probabilidade condicionada da ocorrência de  $N$  perdas dado que ocorreu a rotura da barragem.



Fig. 1 - Gestão do risco nos vales a jusante de barragens (Fonte: T. VISEU, 2006).

No que diz respeito aos vales a jusante de barragens, verifica-se, igualmente, que a noção de risco se refere a uma dupla realidade (Fig. 1): por um lado, alude ao risco de rotura de uma barragem (que se relaciona com a segurança da barragem e a análise do risco associado à barragem) e, por outro, ao risco em que incorrem os vales a jusante da mesma, pelo facto desta poder eventualmente colapsar (que se relaciona com as consequências da rotura e a análise do risco no vale a jusante de barragens).

Alguns autores estipulam que a análise do risco associado à barragem se baseia, em primeiro lugar, na caracterização exaustiva das potenciais ocorrências excepcionais ou circunstâncias anómalas que podem estar na origem de deteriorações em barragens, ou seja, obriga à identificação dos factores de risco (B.L. CANTWELL *et al.*, 1988). Posteriormente, esta análise pode envolver a avaliação da probabilidade de ocorrência das deteriorações na barragem.

A identificação dos factores de risco associados à barragem é, assim, a primeira etapa da análise, sendo um processo qualitativo e o tão sistemático quanto possível, que consiste na caracterização dos eventos e das condições que podem estar na origem da rotura de uma barragem; esta fase é regida pela tentativa de resposta à pergunta: “o que pode originar uma rotura?”.

Já a determinação da probabilidade de ocorrência dos diversos eventos que provoquem a deterioração da barragem é regida pela tentativa de resposta à pergunta: “quão prováveis são os modos de rotura?”.

A análise do risco no vale a jusante de barragens pode, por sua vez, ser completamente independente da análise do risco associado à barragem. Esta análise do risco visa a determinação das consequências da rotura de uma barragem, sendo regida pela tentativa de resposta à pergunta: “o que poderia acontecer, caso ocorresse a rotura (avaliação de danos e consequências)?”.

Uma avaliação exaustiva do risco implica respostas claras às três perguntas acima colocadas, permitindo estimar uma medida quantitativa do risco efectivo, tal como traduzido pelas equações apresentadas (Eq. 1 e Eq. 2).

Uma vez avaliado o risco é possível efectuar a respectiva apreciação por comparação do seu valor com critérios de aceitabilidade e de tolerabilidade. O risco aceitável refere o nível de risco que a sociedade considera como tolerável, não se afigurando necessária a sua redução.

Finalmente, podem ainda ser dirigidos esforços no sentido da mitigação do risco residual. Esta fase da gestão do risco, define-se como uma acção combinada que consiste basicamente na implementação de procedimentos de prevenção e de preparação. Enquanto os primeiros diminuem a probabilidade de ocorrência

de um acidente, os segundos reduzem, em caso de acidente, o número de perdas de vidas e o volume de danos materiais no vale a jusante.

### Análise do risco nos vales a jusante de barragens

A consideração dos vales a jusante das barragens como objecto de análise e de gestão do risco associado a essas estruturas no contexto da actividade normal de engenharia e dos serviços de protecção civil é recente. Em Portugal, este conceito foi incentivado e divulgado através de actividades no âmbito de um projecto financiado pelo Programa *Science for Stability* da NATO (A.B. ALMEIDA *et al.*, 2003). Actualmente, o regulamento nacional de segurança de barragens estipula as exigências a cumprir no âmbito das medidas de protecção civil no vale a jusante, nomeadamente no que diz respeito a planos de emergência e a sistemas de aviso à população (RSB, 2007).

De acordo com este documento legal, a gestão do risco nos vales a jusante de barragens deverá ter em conta as consequências de hipotéticos cenários de rotura por forma a diferenciar situações locais e a possibilitar a preparação adequada das medidas de protecção civil ajustadas a cada caso. Estas consequências, que se relacionam directamente com a terceira probabilidade da Eq. 2 - a probabilidade condicionada de perdas ou danos -, dependem do grau de perigo associado à cheia induzida (perigosidade da cheia) e do grau de exposição e da susceptibilidade à destruição a que os indivíduos e os bens estão sujeitos (vulnerabilidade do vale a jusante).

Foi desenvolvida uma metodologia específica designada por **ArRIBAR** (**A**nálise do **R**isco no vale a jusante de **B**arragens) cujo objectivo consiste na avaliação das consequências da rotura da barragem, ou seja, na determinação dos danos e na estimação do número expectável de vítimas no vale a jusante. Esta metodologia repousa essencialmente em três aspectos (T. VISEU, 2006):

- A simulação da cheia induzida que permite caracterizar o evento perigoso;
- A definição do zonamento do risco, que permite identificar as zonas onde a cheia tem características mais destrutivas;
- A caracterização da vulnerabilidade das áreas do vale a jusante da barragem que vão sofrer o impacto da cheia induzida.

### *Simulação da cheia induzida*

As cheias induzidas são, de acordo com a bibliografia da especialidade, as provocadas pelas deteriorações na barragem, sejam elas a rotura ou qualquer outro

acidente que implique descargas não controladas com impacto no vale a jusante. O presente item refere-se à simulação de cheias induzidas que são provocadas pela rotura de barragens. Esta simulação obriga, na prática, à modelação não só do processo de propagação da cheia ao longo do vale a jusante como ainda do processo de formação da cheia, compreendendo o desenvolvimento da brecha de rotura e o hidrograma efluente da mesma.

#### *Processo de formação da cheia induzida*

Os modelos existentes para efectuar a simulação do processo de formação da cheia induzida pela rotura de barragens de aterro podem ser agrupados em três categorias (T.L. WAHL, 1998):

- Modelos baseados em equações empíricas de previsão;
- Modelos paramétricos;
- Modelos baseados em métodos físicos.

Os modelos baseados em equações empíricas de previsão utilizam expressões que relacionam o caudal máximo efluente da brecha de rotura com as características da barragem ou da albufeira (geralmente altura, volume armazenado ou uma variável que compreenda estas duas características). Estas expressões são desenvolvidas tendo por base casos de estudo, essencialmente derivados das roturas históricas, e apenas determinam o caudal máximo efluente, ou seja, não simulam a formação da brecha nem definem um hidrograma efluente da mesma. Faz-se notar que, de uma forma geral, estas relações de regressão podem apresentar coeficientes de correlação baixos devido à escassez de informação de base.

Nos modelos paramétricos, o modelador define a geometria da brecha (a largura e a forma final) e o tempo de rotura, fazendo uso do tratamento estatístico da informação que é obtida das roturas históricas (protótipos) ou de resultados experimentais (modelos físicos). Estes modelos simulam a evolução da brecha em função do tempo e calculam o hidrograma resultante segundo princípios da hidráulica. O uso de modelos paramétricos para simular o processo de formação de cheias em brechas de rotura de barragens de aterro justifica-se pela complexidade construtiva destas estruturas, que se traduz no facto de tornar difícil uma descrição física detalhada da rotura. As barragens de aterro apresentam um modo de rotura gradual, no qual as dimensões da brecha crescem com o tempo, pelo que se tornou bastante popular adoptar, igualmente, a hipótese simplificativa de assumir roturas lineares (i.e. um aumento linear das dimensões da brecha no tempo entre dois estados especificados da brecha). Esta hipótese provou ser capaz de produzir hidrogramas de caudais efluentes na secção das barragens em rotura realistas num vasto leque de aplicações.

Os modelos baseados em métodos físicos simulam a evolução da brecha e calculam o hidrograma resultante da rotura de barragens de aterro usando modelos de erosão baseados na realidade física do problema, ou seja, em princípios de hidráulica, transporte sólido e mecânica dos solos. Estes modelos são, usualmente, desenvolvidos acoplando as equações do regime variável às equações da erosão e do transporte sólido.

#### *Processo de propagação da cheia induzida*

Os modelos existentes para efectuar a simulação do processo de propagação da cheia induzida pela rotura de barragens constituem aplicações particulares dos modelos gerais de propagação de cheias naturais. As cheias induzidas são frequentemente mais perigosas do que as cheias naturais por duas razões: primeiro porque a existência de uma barragem a montante pode dar a percepção de uma falsa segurança à população e resultar no esquecimento de práticas correntes e tradicionais de prevenção de cheias; segundo porque podem ser macro-cheias (caracterizadas por valores pouco usuais de alturas de água e de velocidades do escoamento) ou ainda cheias abruptas, cuja subida dos níveis de água é mais rápida do que a subida associada a uma cheia natural, o que diminui o tempo disponível para avisar e evacuar as pessoas.

A formulação matemática que está na base dos modelos de simulação do processo de propagação da cheia induzida é obtida a partir das equações da hidrodinâmica, correspondentes aos escoamentos em superfície livre (dinâmicos e variáveis). Os diversos graus de simplificação destas equações podem dar origem aos seguintes tipos de modelos:

- Modelos numéricos hidráulicos completos ou hidrodinâmicos;
- Modelos numéricos hidrológicos e hidráulicos simplificados;
- Modelos matemáticos (definindo soluções analíticas).

A modelação do processo de propagação das cheias induzidas pela rotura de barragens pode ser ainda realizada com recurso a modelos baseados em equações empíricas de previsão. As soluções analíticas e as equações empíricas de previsão assim como os modelos hidrológicos e hidráulicos simplificados inserem-se no conjunto dos “modelos simplificados”, tal como são denominados na gíria técnica. De notar ainda que o grande desenvolvimento dos meios computacionais, nas últimas décadas, tornou correntes os modelos hidrodinâmicos, de que constitui talvez o exemplo mais conhecido os modelos DAMBRK (Boss DAMBRK, 1991) e HEC-RAS (USAGE, 2002).

Os modelos de simulação fornecem resultados que consistem nos valores máximos dos caudais de ponta de cheia, das velocidades máximas de escoamento, dos níveis máximos de escoamento e dos tempos de propagação do pico e da frente de onda, com os respectivos instantes de chegada a cada uma das secções do vale a jusante. Os níveis máximos atingidos pelo escoamento permitem delinear as áreas a jusante onde ocorrem inundações, ou seja, definem o mapa de inundação.

#### *Definição do zonamento do risco*

Uma vez efectuado o cálculo da cheia induzida e possuindo o mapa de inundação é então possível passar à segunda fase da ArRIBAR, ou seja, delinear o zonamento de risco para as áreas ou zonas susceptíveis de serem inundadas. Na realidade, estas zonas sofrem os impactos da cheia induzida de formas distintas e, por conseguinte, as medidas de protecção civil (nomeadamente a nível das possibilidades e modalidades de aviso e de evacuação das populações) devem ser definidas tendo em conta estas diferenças. Na verdade, a definição das diferenças de risco entre as zonas que constituem toda a área inundada, i.e., a definição do zonamento de risco assume-se como uma questão algo problemática e, em particular, a definição da zona próxima da barragem que corresponde à zona onde a acção dos agentes de protecção civil se torna mais difícil, porque é a que mais rapidamente fica inundada.

Em termos práticos, o zonamento de risco deve ser definido em função das características da cheia induzida, nomeadamente do valor máximo da altura da água e do tempo de chegada desta. Existem, no entanto, outras características da onda que poderão também ser tidas em conta, nomeadamente a velocidade do escoamento (que dá uma ideia do seu poder destrutivo), a velocidade média de subida do nível da água ou gradiente da altura do escoamento e a duração das submersões (que permite avaliar os custos materiais).

A consulta da legislação a nível internacional permitiu constatar que o zonamento de risco é, de uma forma geral, realizado com base na variável tempo de chegada da cheia induzida, a qual permite estimar o tempo disponível para evacuar a população das áreas de risco.

Em Portugal, considera-se que o critério para definição da zona de risco máximo é a distância percorrida pela onda de inundação em 30 minutos, com um percurso mínimo de 5 km. Nesta zona de maior risco, que se denomina de “Zona de Auto-Salvamento” (ZAS), a protecção à população é usualmente assegurada pela instalação de um sistema de aviso (sirenes, por exemplo) operado a partir da barragem. Nesta zona é, igualmente, preconizado o princípio do auto-salvamento como meio de evacuação; ou seja: em caso de acidente, o alarme

deve ser directamente dado pelo sistema de aviso da barragem e as pessoas (que devem conhecer os locais de refúgio) deverão dirigir-se autonomamente para os locais seguros.

#### *Caracterização da vulnerabilidade do vale a jusante*

Tal como já foi referido, a caracterização do evento da cheia induzida (com a respectiva definição da área de inundação) e a estimativa do grau de perigo, (concretizada pela delimitação do zonamento) constituem os primeiros passos para a realização de uma ArRIBAR. Esta operação terá, no entanto, de tomar em linha de conta a situação de ocupação do solo no vale a jusante. Com efeito, eventos com características semelhantes podem dar origem a acidentes de dimensões totalmente diferentes em regiões com padrões de ocupação, tipos de população ou modos de construção e de organização social distintos.

Assim, os danos que ocorrem nos vales a jusante de barragens dependem dos seguintes factores:

- Do tipo e densidade de ocupação do solo;
- Da capacidade de resistência dos bens expostos e da resposta dos indivíduos e da sociedade nas zonas a jusante.

Para definir a ocupação do solo são usualmente consultadas, como fontes de informação, as cartas militares à escala de referência 1:25 000. É com base nesta cartografia que se realiza:

- Uma estimativa do número de edificações fixas que se encontram no limite da área de inundação e que sofrem o impacto da cheia induzida;
- Um inventário das infra-estruturas afectadas, em particular, no que concerne as vias rodoviárias e ferroviárias;
- Uma caracterização sumária da ocupação do solo no vale a jusante, em termos de densidade de povoamento e de tipo de ocupação.

No que diz ao tipo de ocupação, constitui prática usual considerarem-se as seguintes subdivisões:

- Áreas agrícolas, florestais ou naturais;
- Áreas urbanas, industriais ou áreas reservadas a equipamentos e infra-estruturas.

O tipo e densidade da ocupação do solo na área de inundação definida pela simulação da cheia induzida permite, assim, realizar uma avaliação termos de indivíduos e bens económicos e ambientais em exposição.

A avaliação das consequências reais que uma cheia induzida tem no vale a jusante; ou seja, a percentagem

do valor exposto ao risco (indivíduos e bens materiais ou ambientais) que pode ser efectivamente perdida relaciona-se com a vulnerabilidade do vale a jusante, ou seja, com características intrínsecas do respectivo meio físico e, em particular, da população que nele reside.

Assim, a vulnerabilidade pode estar associada ao meio físico (que caracteriza a capacidade de os edifícios resistirem ou não à cheia e de constituírem ou não refúgios), social (que caracteriza essencialmente a capacidade de sobrevivência dos indivíduos em risco, com indicadores como a idade etária, por exemplo), económica (que caracteriza a capacidade de recuperação económica após o desastre e a capacidade tanto de acesso à informação como da sua compreensão). A vulnerabilidade testa, também, os agentes de protecção civil e a população em risco, na sua capacidade de anteciparem, agirem e recuperarem de um acidente, ou seja, no seu estado de preparação. Este último é um factor importante da vulnerabilidade e relaciona-se com as práticas de planeamento de emergência no vale a jusante, ou seja, com a mitigação do risco externo.

Num contexto operacional, e na hipótese de se ignorar a influência da perigosidade da cheia induzida no vale a jusante, a vulnerabilidade do vale a jusante pode ser calibrada sob a forma de uma percentagem, variando de 0 (que corresponde a vulnerabilidade nula) a 100% que corresponde a vulnerabilidade total), de modo a que o seu produto pela exposição do que está em risco forneça o valor expectável das consequências. As características sócio-económicas da população em risco, o seu grau de preparação, bem como o nível de resistência do edificado construído na área de risco podem assim acentuar (ou não) a necessidade de implementação de medidas de mitigação do risco, em função do valor do índice de vulnerabilidade (T. VISEU *et al.*, 2008).

### Apreciação do risco

Um dos critérios para a apreciação do risco nos vales a jusante de barragens com maior divulgação a nível mundial foi o desenvolvido pelo *Australian National Committee on Large Dams* (ANCOLD), que adaptou um princípio, inicialmente desenvolvido para quantificar o risco nos transportes, ao contexto da segurança das barragens. A Fig. 2 ilustra este último critério (G.M. SALMON *et al.*, 1995).

Análise desta figura revela que a metodologia empregue baliza o risco entre dois valores: um valor limite máximo de risco e um valor que se quer objectivo; entre estes dois valores é posta a descoberto a zona associada a um nível de risco desejável. De uma forma prática, é possível recuperar (T. VISEU *et al.*, 2009):

- Um limite superior para o risco social (“risco máximo”),

demarkado por uma linha que assinala a fronteira a partir da qual o risco é considerado inaceitável porque injustificado;

- Um limite inferior para o nível de risco social (“risco óptimo”), demarcado por uma linha que assinala a fronteira abaixo da qual o risco deixa de ser uma preocupação legal, podendo ser considerado negligenciável;
- A zona alarp situada entre os dois limites acima referidos e que corresponde à zona do risco “tão reduzido quanto possível” (“risk as low as reasonably practicable”, segundo a terminologia anglo-saxónica). É nesta zona que se devem implementar as medidas de segurança de modo a reduzir o risco que deverá ser restrito, tanto quanto possível, ao limite inferior.

O exame dos critérios propostos indica que, de uma forma geral, um risco de 0,0001 vidas por ano e por barragem (ou seja um valor de risco em que a morte de um indivíduo tem uma probabilidade de ocorrência de  $10^{-4}$  parece ser aceitável). De uma forma geral, com o objectivo de uniformizar o critério de risco efectivo aceitável, constitui prática de projecto associar às barragens que potenciam danos mais elevados probabilidades de rotura menores, ou seja (Fig. 2):

- Tolerar 10 vítimas mortais apenas quando estas se encontram associadas à probabilidade de ocorrência de um acidente igual a  $10^{-5}$  (o que, como o risco se define como o produto da probabilidade pelas consequências, equivale a um risco de  $10^{-4}$ );
- Tolerar 100 vítimas mortais apenas quando estas se encontram associadas à probabilidade de ocorrência de um acidente igual a  $10^{-6}$  (o que equivale a um risco de  $10^{-4}$ );
- Tolerar 1000 vítimas mortais apenas quando estas se encontram associadas à menor probabilidade de ocorrência de um acidente de  $10^{-7}$  (o que equivale ao risco de  $10^{-4}$ ).

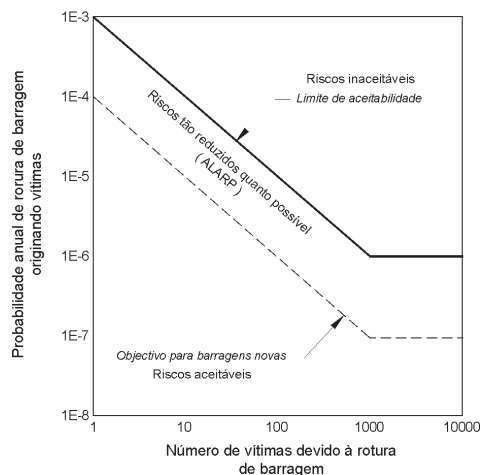


Fig. 2 - Risco aceitável pela sociedade na eventualidade da rotura de uma barragem (Fonte: G.M. SALMON *et al.*, 1995).

### Mitigação do risco nos vales a jusante de barragens

A gestão do risco compreende as fases da avaliação e da mitigação do risco. Tendo sido previamente apresentado um conjunto de procedimentos destinados a apoiar a avaliação do risco nos vales a jusante de barragens, são agora expostas diferentes metodologias cujo propósito visa a mitigação do risco para fazer face às situações de emergência originadas por deteriorações numa barragem. Verifica-se que a mitigação do risco é concretizada por recurso a dois tipos de acções:

- De redução do nível de risco associado à barragem, reforçando a estrutura ou implementando medidas que permitam a detecção atempada de deteriorações na mesma (medidas de prevenção que estão relacionadas com o controlo de segurança da barragem);
- De redução do grau de vulnerabilidade do vale a jusante, implementando medidas de planeamento de emergência (medidas de preparação) e medidas de interferência a nível do comportamento dos indivíduos que podem ser alterados, por exemplo, através do desenvolvimento de legislação e de normas de ordenamento do território.

Segundo a abordagem que consta em UNDR0, 1991, a mitigação do risco é também a primeira fase do ciclo da gestão da emergência, a denominada fase “antes da emergência”. A esta primeira fase seguem-se outras duas: a fase “durante a emergência” e a fase “após a emergência” (Fig. 3).

A segunda fase do ciclo da gestão da emergência, denominada “durante a emergência”, corresponde à resposta ao acidente, incidindo, essencialmente, na tentativa de controlar a situação na barragem através da implementação das acções de resposta e de medidas de intervenção preventivas e correctivas. No vale a jusante, as acções de resposta incidem na tentativa de diminuir as consequências do acidente: acções de aviso, evacuação e socorro da população. Assim, esta fase compreende a activação e implementação dos planos de emergência previamente desenvolvidos, obrigando à coordenação de esforços por parte dos diversos intervenientes envolvidos no processo: equipa operacional da barragem, agentes da protecção civil e população em geral.

A terceira fase do ciclo da gestão da emergência, denominada “após a emergência” está associada à recuperação moral e logística da população e economia da sociedade e consiste no apoio às vítimas (através do fornecimento de alimentos, roupas, refúgio e cuidados médicos), na remoção dos escombros, na estimativa dos prejuízos morais e económicos, na reconstrução do edificado e no re-estabelecimento das infra-estruturas; numa palavra: na restauração da continuidade da vida social.

O desenvolvimento de planos de emergência para fazer face ao risco de habitar em vales a jusante de barragens é uma medida de mitigação de risco do tipo não estrutural, sendo um procedimento de “preparação” associado à fase do ciclo “antes da emergência” (Fig. 3).

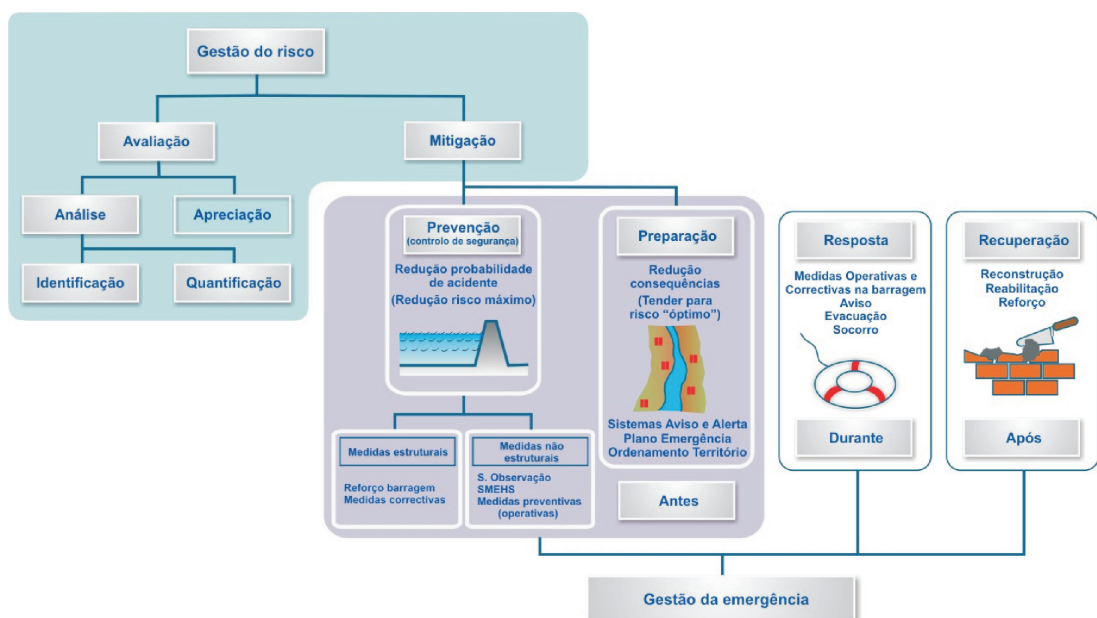


Fig. 3 - Relação entre a gestão do risco e a gestão da emergência (Fonte: T. VISEU, 2006).

Consiste na definição dos meios necessários e das acções que assegurem uma resposta adequada por parte da equipa operacional na barragem, dos agentes de protecção civil, bem como da população em risco. O risco de destruição da cheia induzida pode obrigar à implementação de medidas que se estendam por centenas de quilómetros ao longo do vale a jusante. A preparação de respostas adequadas a este risco é, assim, essencial e garante que todos os recursos e serviços se encontram operacionais quando necessários, e que podem ser rapidamente mobilizados.

No que diz respeito ao plano de emergência associado ao risco de habitar em vales a jusante de barragens, concluiu-se que a elaboração de um único plano de emergência, envolvendo a barragem e a respectiva zona do vale a jusante, tal como é implicitamente preconizado no RSB, não se afigura como a solução mais adequada. Na verdade, existem razões de ordem prática que evidenciam vantagens inequívocas no desenvolvimento de dois planos de emergência, distintos mas complementares, cuja existência é reconhecida e seguida em Portugal, desde 1999, pelos principais organismos que desenvolvem actividade em segurança de barragens, a Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) e o Instituto da Água (INAG):

- O Plano de Emergência Interna (PEI), cujo desenvolvimento é da responsabilidade do Dono da Obra, está centrado no controlo da segurança da barragem;

- O Plano de Emergência Externo (PEE), cujo desenvolvimento é da responsabilidade do Sistema de Protecção Civil, está centrado no controlo do risco no vale a jusante.

A experiência norte-americana na elaboração de planos de emergência associados ao risco de habitar em vales a jusante de barragens realça a vantagem de organizar estes planos com base em cinco acções distintas (USBR, 1995): detecção do evento perigoso na barragem; tomada de decisão por parte dos responsáveis pela segurança da barragem (ou seja, a tentativa de controlar a situação na barragem); notificação de todos os agentes envolvidos no planeamento de emergência; aviso à população; e evacuação da mesma (Fig. 4).

De notar que estas acções de planeamento de emergência correspondem, na verdade, às diferentes fases que caracterizam o PEI e o PEE. Assim, afigura-se que o PEI deve dar resposta às três primeiras fases da “detecção” (apoiado num sistema de identificação das ocorrências excepcionais e das circunstâncias anómalas), da “tomada de decisão” (apoiado no Plano de acção do PEI) e da “notificação” (apoiado no sistema de alerta), às quais se podem seguir as outras duas, de “aviso” e de “evacuação” da população, que deverão ser essencialmente consideradas como pertencentes ao campo de acção do PEE (Fig. 4).

Com efeito, de acordo com a legislação em vigor, verifica-se que o Dono da Obra não tem responsabilidade nem



Fig. 4 - Relação entre o PEI, o PEE e as fases de emergência associadas ao risco nos vales a jusante de barragens (Fonte: T. VISEU, 2006).



poder legal para implementar alguns dos procedimentos do planeamento de emergência, em especial os que estão relacionados com a protecção de pessoas e bens no vale a jusante. Isto inclui o aviso às populações em risco (à excepção da Zona de Auto-Salvamento, mais próxima da barragem), a evacuação das mesmas e as operações de busca e salvamento. Adicionalmente, muitos destes aspectos operacionais estão já contemplados num plano de emergência local ou regional para outros riscos, não necessitando de ser abordados repetidamente para os planos dos vales a jusante de barragens.

Confirma-se, assim, que, em termos de definição de tarefas, cabe ao Dono da Obra e à entidade responsável pela exploração e segurança de cada barragem o desenvolvimento das três primeiras fases do plano (vide Figura 4) e a implementação dos meios para a sua concretização (sistema de observação da barragem, sistemas de comunicação e a instalação dos meios de aviso na Zona de Auto-Salvamento - ZAS). O Sistema de Protecção Civil deve, por sua vez, ser o principal responsável pelo aviso à população ao longo do vale a jusante e pela evacuação da mesma.

Realça-se que o Sistema de Protecção Civil tem também responsabilidades na Zona de Auto-Salvamento, cabendo-lhe decidir com o Dono de Obra quando desencadear o aviso à população e ainda apoiar a evacuação da mesma (se houver tempo para tal). Constituem igualmente responsabilidades do Sistema de Protecção Civil desenvolver acções de socorro e assistência e proceder às acções de informação e sensibilização da população que reside na Zona de Auto-Salvamento.

### Conclusões

As características do vale a jusante (por exemplo o uso e ocupação do solo) evoluem com o tempo, surgem novas deteriorações nas barragens, as técnicas de simulação de cheias induzidas evoluem, novas exigências legislativas obrigam à adopção diferentes critérios de segurança e, finalmente, a sociedade pode tornar-se mais exigente no que diz respeito à apreciação do risco. Assim, torna-se necessário proceder ciclicamente à revisão da avaliação do risco nos vales a jusante das barragens.

Por outro lado, a segurança acrescida decorrente da elaboração dos planos de emergência não poderá ser garantida se estes não forem enquadrados por um processo adequado de avaliação e acompanhamento. Este processo tem os objectivos específicos de garantir a actualização e de avaliar a credibilidade dos planos de emergência. Em particular, devem realizar-se exercícios para verificação e correcção de procedimentos referentes à eficácia de aviso, à capacidade de evacuação das populações e à mobilização e coordenação dos meios de protecção civil.

A actualização e a avaliação, assim como os testes dos planos, possibilitam, igualmente, a detecção de eventuais pontos fracos. Também os acidentes que ocorreram no passado têm esta mesma capacidade, constituindo os relatórios que descrevem as circunstâncias e as consequências dos acidentes passados e as medidas tomadas nas situações de emergência uma fonte excelente para a elaboração de recomendações para alteração de acções e de propostas para novos procedimentos.

### Referências bibliográficas:

- ALMEIDA, A. Betâmio, RAMOS, C. Matias, SANTOS, M. Alzira e VISEU, Teresa (2003) - *“Dam Break Flood Risk Management in Portugal”*. Livro editado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal.
- ALMEIDA, A. Betâmio e VISEU, Teresa (1997) - *“Dams and Safety Management at Downstream Valleys”*. Livro publicado pela A.A. Balkema (“editors”: António Betâmio de Almeida e Teresa Viseu).
- BOSS DAMBRK (1991) - *“User’s Manual”*. Boss Corporation.
- CANTWELL, B.L. e MURLEY, K.A. (1988), *“Design flood guidelines, Australia”*. *Proceedings of 16<sup>th</sup> ICOLD Congress, San Francisco*, Vol. IV, Q. 63, R. 15.
- RSB (2007) - *“Regulamento de Segurança de barragens”*. DECRETO-LEI Nº 344/2007, LISBOA.
- SALMON, G.M. e Hartford, D.N. (1995), *“Risk analysis for dam safety”*. *International Water Power & Dam Construction*, Março, pp. 42-50.
- UNDRP (1991) - *“Mitigating natural disasters: phenomena, effects and options. A manual for policy makers and planners”*. Office of the United Nations Disaster Relief coordinator. New York.
- USACE (2002) - *“HEC-Ras River Analysis System - User’s Manual”*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Centre (HEC).
- USBR (1995) - *“Emergency Planning and Exercise Guidelines”*. Volume I: *Guidance Documents*. Technical Service Center, Department of the Interior, Denver, USA.
- VISEU, Teresa (2006) - *“Segurança dos vales a jusante de barragens. Metodologias para apoio à gestão do risco”*. Tese de doutoramento em Engenharia Civil, IST, Lisboa, Janeiro.
- VISEU, Teresa e ALMEIDA, A. Betâmio (2008) - *“Vulnerability index for risk evaluation: an approach for safety on dam’s downstream valleys”*. *Proceedings*

da “Sixth International Conference in Computer Simulation Risk Analysis and Hazard Mitigation”, Cefalónia, Grécia, Maio.

VISEU, Teresa e ALMEIDA, A. Betâmio (2009) - “Dam-break risk management and hazard mitigation”. *Capítulo 7 do livro “Dam - break. Modelling, Laboratory Tests, Prevention, Defence and Case Studies”*

publicado pela WIT press (“editors”: D. De Wrachien and S. Mambretti).

WAHL, T.L. (1998) - “Prediction of embankment dam breach parameters. A literature review and needs assessment”. *Dam Safety Research Report*. Bureau of Reclamation, United States Department of the Interior, Denver, USA, July.