



Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens

**GRUPO DE TRABALHO DE  
ANÁLISE DE RISCOS EM  
BARRAGENS**



**2º RELATÓRIO DE PROGRESSO**

**(DEZEMBRO DE 2006)**



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. TRABALHO DESENVOLVIDO .....</b>	<b>1</b>
2.1 INQUÉRITO À SITUAÇÃO NACIONAL .....	1
2.2 ARQUIVO RESIDENTE .....	2
2.3 CASO DE ESTUDO: ANÁLISE DE RISCOS DA ENSECADDEIRA DE ODELOUCA .....	2
2.3.1 <i>Considerações iniciais</i> .....	2
2.3.2 <i>Descrição geral da ensecadeira e do vale a jusante</i> .....	3
2.3.3 <i>Descrição da metodologia de análise de riscos utilizada</i> .....	6
2.3.3.1 Princípios gerais .....	6
2.3.3.2 Avaliação e apreciação das consequências .....	7
2.3.3.3 Identificação e avaliação dos modos de rotura .....	9
2.3.3.4 Estimativa e ordenação de índices .....	10
2.3.3.5 Resultados da análise .....	10
2.3.4 <i>Conclusões e considerações finais</i> .....	15
<b>3. ACTIVIDADES ASSOCIADAS.....</b>	<b>16</b>
3.1 PARTICIPAÇÃO EM EVENTOS DE DIVULGAÇÃO .....	16
3.2 ARTIGOS DE DIVULGAÇÃO .....	17
3.3 OUTRAS ACTIVIDADES .....	18
<b>4. ACTIVIDADES A DESENVOLVER EM 2006.....</b>	<b>18</b>



## **1. INTRODUÇÃO**

No decurso de 2005, o Grupo de Trabalho desenvolveu as suas actividades de acordo com o plano apresentado no 1º Relatório de Progresso (Janeiro de 2005), salientando-se a aplicação, a um primeiro caso de estudo, de uma metodologia de análise de riscos. Inclui-se, no presente relatório, um breve resumo desse estudo, que incidiu sobre a ensecadeira de Odelouca. Um segundo caso de estudo, relativo a uma barragem de betão, será oportunamente desenvolvido.

Por razões operacionais diversas, nomeadamente a carência de alguns recursos, não foi possível ao Grupo concluir algumas das tarefas previstas para o ano de 2005.

Durante o ano de 2005 prosseguiram e intensificaram-se as actividades de divulgação e de investigação relacionadas com a gestão e a análise de riscos no âmbito da engenharia nacional, em geral, e da engenharia civil, em particular. Algumas destas actividades envolveram directamente os membros do Grupo de Trabalho e corresponderam a uma contribuição indirecta para a prossecução dos seus objectivos. Entendeu-se que seria adequado incluir, no presente relatório, informação sobre algumas dessas actividades, assim como sobre contribuições afins que foram objecto de divulgação em 2005.

## **2. TRABALHO DESENVOLVIDO**

### **2.1 Inquérito à situação nacional**

Com vista à avaliação das capacidades nacionais no domínio das análises de riscos e à promoção de contactos futuros, foi elaborado um questionário (que se apresenta em anexo) a enviar a entidades nacionais com actividade relevante nesta área, tais como Universidades, Institutos e Empresas.

Foi igualmente preparado um outro questionário (também apresentado em anexo) a enviar às Comissões Nacionais de Grandes Barragens, filiadas na Comissão Internacional das Grandes Barragens (CIGB), com vista a obter informações sobre o estado de desenvolvimento de estudos semelhantes nos respectivos países e sobre disposições sobre a aplicação das abordagens de análises de riscos de barragens nas regulamentações e directivas nacionais, e ainda a promover a troca de conhecimentos e de experiências neste domínio.

## **2.2 Arquivo residente**

Como já foi referido no primeiro relatório, os elementos do grupo de trabalho elaboraram uma base de dados documental, baseada numa *mailing list* sediada num servidor do LNEC, contendo diversas referências a documentos em posse do grupo de trabalho, incluindo, sempre que disponíveis, as respectivas versões informáticas.

Durante o ano de 2005 a base foi sendo objecto de actualização.

## **2.3 Caso de estudo: Análise de riscos da ensecadeira de Odelouca**

### **2.3.1 Considerações iniciais**

A primeira aplicação a um caso de estudo de uma metodologia de análise de riscos reporta-se à ensecadeira de Odelouca. O estudo realizado foi divulgado num artigo apresentado ao Seminário *Barragens, Tecnologia, Segurança e Interação com a Sociedade* (L. Pimenta *et al.*, 2005), organizado pela Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens (CNPGB) em 2005.

A metodologia utilizada tem já uma razoável experiência de aplicação no domínio das barragens no Reino Unido e baseia-se, no que se refere à identificação e à avaliação dos modos de rotura, na aplicação de *Diagramas de Localização, Causa e Indicadores das Falhas* (LCI).

Esta metodologia, que se encontra descrita em “Risk Management for UK Reservoirs” (Hughes *et al.*, 2000) e, no Reino Unido, é passível de aplicação a todas as barragens abrangidas pelo *Reservoir Act 1975* (volume armazenado maior ou igual a 25 000 m<sup>3</sup>), destina-se à realização de análises de riscos relativas a modos de rotura que originem a libertação da totalidade ou de parte do volume armazenado na albufeira. Este tipo de metodologia permite, para um dado conjunto de obras com processos de deterioração, a definição de prioridades de intervenção em função dos riscos estimados.

, Após uma breve caracterização da obra em questão e do vale a jusante, apresenta-se, nos itens subsequentes, um resumo da metodologia utilizada, designadamente dos seus princípios gerais, da forma de avaliação e de apreciação das consequências e da identificação e avaliação dos modos de rotura, bem como uma síntese dos resultados obtidos.

A análise de riscos realizada foi fundamentada em elementos de projecto e construção compilados para o efeito e nos resultados de uma visita de inspecção à obra e ao vale a jusante.

### 2.3.2 Descrição geral da ensecadeira e do vale a jusante

A ensecadeira de Odelouca localiza-se na ribeira de Odelouca, cerca de 1 km a montante da sua confluência com a ribeira de Monchique, num vale de morfologia vigorosa, no Concelho de Silves.

Trata-se de um caso particular de uma estrutura provisória a ser incorporada na obra definitiva que, face à suspensão da empreitada de construção da barragem, viu prolongado o seu período de vida útil. Enquanto obra isolada, a ensecadeira de Odelouca é uma grande barragem, com 36 m de altura máxima e um volume de aterro de cerca de 270 000 m<sup>3</sup>, cuja albufeira tem uma capacidade de armazenamento de 19 hm<sup>3</sup> para o nível da água à cota do coroamento (fotografia 1). As obras de desvio da ribeira foram dimensionadas para uma cheia com caudal máximo afluyente de 715 m<sup>3</sup>/s (T= 50 anos). Para esta cheia, o caudal máximo efluente é de 280 m<sup>3</sup>/s e a folga (relativa a cota do coroamento da ensecadeira) de 0,8 m.



**Fotografia 1 - Corpo da ensecadeira em fase de construção. Vista geral do paramento de montante em 27/10/2003 (COBA, 2003a)**

O perfil tipo da ensecadeira é zonado, semelhante ao da barragem (figura 1), mas sem sistema interno de filtros e drenos, já que não foi prevista a sua exploração enquanto obra isolada. De acordo com o preconizado no projecto, os aterros do corpo da barragem deveriam iniciar-se imediatamente após a conclusão dos aterros da ensecadeira e atingir o coroamento 9 meses depois.

O coroamento da ensecadeira localiza-se à cota 66,5 m e tem 8 m de largura. Os taludes têm inclinação de 1:2,25 (V:H) a montante e 1:1,9 (V:H) a jusante. O coroamento do núcleo, com 4 m de largura, localiza-se à cota 65,5 m. Os seus taludes têm inclinação de 1:0,3 (V:H).

Os materiais das manchas de empréstimo utilizados no núcleo, caracterizados em fase de Projecto, exibiam percentagens de finos, em geral, entre a 40 a 80%, percentagens de argila entre 6 a 15% e IP entre 6 e 18%. No que se refere aos

materiais para os maciços, os resultados obtidos em fase de Projecto correspondiam a percentagens de finos entre 15 e 25%, percentagens de grossos entre 40 e 70% e IP entre 10 e 15%.

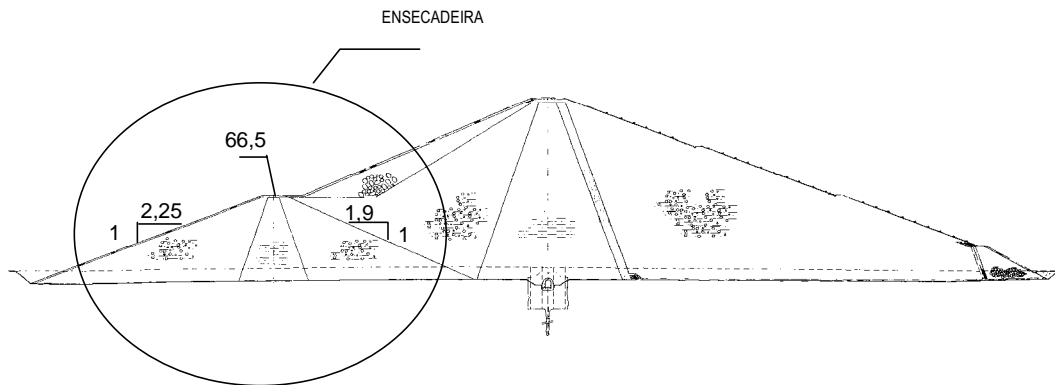


Figura 1 – Perfil tipo da barragem e ensecadeira de Odelouca

Na figura 2 apresenta-se o fuso dos materiais do núcleo e dos maciços estabilizadores estabelecido em fase de projecto.

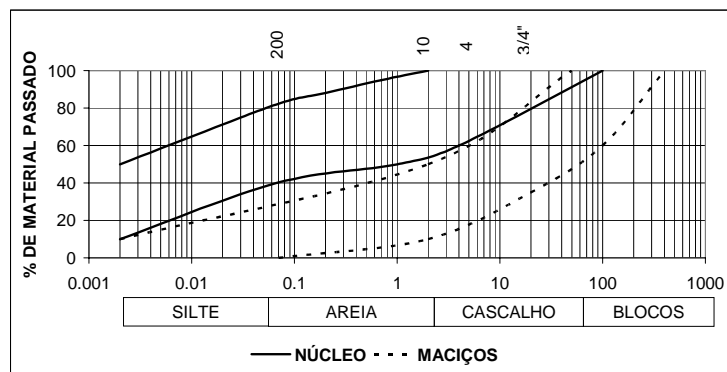


Fig. 2 – Fusos granulométricos dos materiais do núcleo e dos maciços estabilizadores

Tendo em conta o conjunto de elementos analisados, que interessam a fase de projecto e construção, estima-se que os materiais do núcleo sejam mais deformáveis e menos resistentes que o preconizado em projecto (COBA, 2000) e que possam exibir heterogeneidade de comportamento induzido pela compactação, e que os materiais dos maciços sejam menos deformáveis e mais resistentes. Para a geometria do perfil tipo, estima-se, no que se refere ao desempenho do corpo da ensecadeira e numa análise qualitativa preliminar: i) maior deformabilidade dos aterros; ii) maior transferência de tensões entre o núcleo e os maciços; iii) maior susceptibilidade à fracturação hidráulica; e, iv) susceptibilidade à erosão interna. Os itens iii) e iv) dependem, naturalmente, das aflúncias de água e dos períodos de cheia a que a ensecadeira for sujeita.



No que se refere à estabilidade global, a maior resistência ao corte previsível dos materiais dos maciços poderá compensar a menor resistência expectável para os materiais do núcleo, a menos da ocorrência de zonas de compactação deficiente dos aterros ou de ligações deficientes à fundação.

Por outro lado, face à capacidade de vazão reduzida das estruturas hidráulicas construídas, cujos objectivos iniciais eram o desvio da ribeira e o amortecimento da cheia de estaleiro, a probabilidade de galgamento do corpo da ensecadeira é significativa, aumentando com o prolongamento do seu período de vida útil, enquanto obra isolada.

O vale a jusante da ensecadeira é relativamente encaixado, alargando, de uma maneira geral de forma progressiva, de montante para jusante. Após a confluência com o rio Arade, cerca de 23 km a jusante da ensecadeira, verifica-se um alargamento substancial do vale. A largura do leito menor é de 40 m junto à ensecadeira, de cerca de 125 m numa secção localizada 10 km a jusante e de aproximadamente 600 m numa secção 25 km a jusante.

A ocupação do vale nos primeiros 5 km é particularmente reduzida, composta, no essencial, por construções dispersas, na sua maioria não residenciais, e por alguma agricultura de subsistência. Entre os 5 e os 17 km, a ocupação do vale aumenta, registando-se um maior número de construções, maior ocupação permanente, maior actividade agrícola e alguma indústria artesanal. Cerca do km 17,5 a jusante da ensecadeira, a ribeira de Odelouca é atravessada pela EN124, no trecho Silves-Portimão, cujo traçado se desenvolve ao longo da margem esquerda da ribeira até cerca do km 22, aproximadamente 1 km a montante da confluência com o rio Arade. O vale do rio Arade a jusante da confluência, que termina em Portimão, só exhibe ocupação assinalável cerca do km 27, nas proximidades da cidade.

Nas fotografias 2 e 3 mostram-se algumas vistas do vale a jusante da ensecadeira, no trecho da ribeira de Odelouca. As fotografias foram obtidas em 09/09/2005 durante uma visita de inspecção ao vale no âmbito da realização da análise de riscos da ensecadeira de Odelouca.



**Fotografias 2 e 3 – Vistas gerais do vale a jusante da ensecadeira de Odelouca**

### 2.3.3 Descrição da metodologia de análise de riscos utilizada

#### 2.3.3.1 Princípios gerais

A metodologia proposta prevê a sua implementação em duas etapas, sendo a realização da segunda condicionada pela apreciação dos resultados da primeira.

A Etapa 1 refere-se à avaliação das consequências e à apreciação dos respectivos resultados.

Nesta etapa procede-se, inicialmente, à compilação de toda a informação disponível relativa ao vale a jusante com interesse para a análise (em princípio, 30 km), recomendando-se a realização de uma visita de inspeção ao vale próximo (os primeiros 5 km). Nos casos em que a linha de água, numa distância inferior a 30 km, atinge a foz ou uma secção em que o hidrograma da cheia provocada pela rotura da obra seja menos gravoso que o de uma cheia com período de retorno (T) de 100 anos, o percurso a estudar poderá ser inferior.

Em seguida, estima-se o caudal de ponta na secção da barragem, o tempo de rotura e o nível de cheia atingido em secções do vale representativas do trecho da linha de água em estudo. O documento de aplicação (Hughes *et al.*, 2000) descreve uma técnica simplificada de cálculo dos hidrogramas de cheia ao longo do vale, recomendando, no entanto, a utilização de resultados de modelos numéricos do tipo *dam-break*, quando disponíveis, o que foi seguido no presente caso de estudo. Em (Andrea Brito *et al.*, 2005) analisaram-se os resultados da aplicação desta técnica e compararam-se com os que se obtêm a partir do modelo numérico *BOSSDAMBRK*.

Estimados os níveis de água atingidos pela cheia ao longo do vale, procede-se à avaliação do *Índice global de impacto* (IGI) através da combinação ponderada das perdas de vidas humanas e de bens económicos, no vale próximo e no vale afastado. Na secção 2.3.3.2 descreve-se a forma de cálculo deste índice.

Calculado o IGI, procede-se, de acordo com o especificado no quadro 1, à sua apreciação e à definição dos estudos subsequentes a desenvolver.

**Quadro 1 – Apreciação do índice global de impacto**

IGI	Classificação	Estudos subsequentes
> 750	Impacto elevado	Nível II
175 a 750	Impacto médio	Nível I
< 175	Impacto baixo	-

Os estudos subsequentes, que só se realizam para impactos médios e elevados, constituem a Etapa 2 e reportam-se à identificação e avaliação dos modos de rotura. Estes estudos são realizados através da aplicação dos Diagramas LCI e da estimativa e ordenação dos *índices de ordenação, confiança, criticalidade e risco* (secções 2.3.3.3 e 2.3.3.4).

O preenchimento dos diagramas do LCI implica, para além da análise integrada dos elementos de projecto, construção e exploração, a realização de uma visita de inspecção à obra. Na realidade, estes diagramas valorizam muito a detecção visual de indícios e evidências de comportamentos anómalos que possam conduzir à rotura.

Os estudos de nível II são, relativamente aos estudos de nível I, mais pormenorizados, podendo, designadamente, contemplar a análise de roturas parciais e respectivas consequências, exigindo o recurso a modelos numéricos de propagação da cheia, que nos estudos de nível I são opcionais.

#### 2.3.3.2 Avaliação e apreciação das consequências

A avaliação das consequências faz-se através do IGI, cuja estimativa pressupõe a análise separada das perdas de vidas humanas e das perdas económicas. Estas são avaliadas para o vale a jusante próximo (< 5 km) e para o vale afastado (5 a 30 km).

Para cálculo do índice relativo à perda potencial de vidas humanas (PPV) é estimado inicialmente o número de pessoas em perigo (PAR, *people at risk*) para cada um dos tipos de ocupação considerados: zonas residenciais, zonas construídas não residenciais, vias de comunicação e áreas recreativas (quadro 2). Em seguida, a PPV é calculada com base no PAR:  $PPV = 0,5 \text{ PAR}$ , no vale próximo, e  $PPV = \text{PAR}^{0,6}$ , no vale afastado.

Para a atribuição do índice relativo às perdas económicas (PE) são inicialmente classificadas as perdas de um conjunto específico de bens, associados a diferentes tipos de ocupação (tipos 1 a 7 no quadro 2). Em seguida, o índice relativo às perdas económicas é obtido a partir da soma ponderada das classificações associadas às perdas, no vale próximo e no vale afastado. Os pesos utilizados são os seguintes: zonas residenciais, 0,15; zonas construídas não residenciais, 0,15; vias de comunicação, 0,10; áreas recreativas, 0,05; áreas industriais, 0,25; redes de abastecimento, 0,25, e áreas agrícolas e *habitats* naturais, 0,05.

O IGI é então determinado pela seguinte equação:

$$IGI = 100PE_{<5km} + PPV_{<5km} + 30PE_{5-30km} + PPV_{5-30km}$$

**Quadro 2 – Perdas económicas específicas e estimativa do PAR (adaptado de Hughes et al., 2000)**

<b>Tipo 1 – Zonas residenciais</b>				<b>Tipo 5 – Áreas industriais</b>		
Importância das perdas	Nº de hab. afectadas	Clas.	PAR	Importância das perdas	Tipo de área industrial afectada	Clas.
nenhuma	0	0	0	nenhuma	-	0
pequena	1 a 15	1	30	pequena	Artesanal	1
média	16 a 50	2	100	média	Associadas à saúde pública	2
elevada	51 a 250	3	500	elevada	Perímetros industriais	3
muito elevada	> 250	4	2x nº hab	muito elevada	Indústrias perigosas	4
<b>Tipo 2 – Zonas construídas não residenciais<sup>(1)</sup></b>				<b>Tipo 6 – Redes de abastecimento<sup>(2)</sup></b>		
Importância das perdas	Nº de pess. afectadas	Clas.	PAR	Importância das perdas	Tipo de redes afectadas	Clas.
nenhuma	0	0	0	nenhuma	-	0
pequena	1 a 150	1	150	pequena	local (distribuição)	1
média	151 a 500	2	500	média	local (origem e distribuição)	2
elevada	501 a 1000	3	1000	elevada	regionais	3
muito elevada	> 1000	4	nº pess	muito elevada	nacionais	4
<b>Tipo 3 – Vias de comunicação</b>				<b>Tipo 7 – Áreas agrícolas e habitats naturais</b>		
Importância das perdas	Tipo de vias afectadas	Clas.	PAR	Importância das perdas	Tipo de área afectada	Clas.
nenhuma	-	0	0	nenhuma	não cultivada	0
pequena	Caminhos e estradas municipais	1	25	pequena	pastagens	1
média	EN, IC, linhas ferroviárias complementares e secundárias	2	50	média	agricultura dispersa	2
elevada	IP, linhas ferroviárias principais	3	100	elevada	agricultura intensa, habitats naturais, património nacional	3
muito elevada	AE, TGV, aeroportos	4	estimativa	muito elevada	habitats protegidos, património mundial	4
<b>Tipo 4 – Áreas recreativas</b>				LEGENDA: hab. – habitações Pess – pessoas Clas. – classificação (1) – escolas, lojas, empresas, etc. (2) – gás, electricidade,		
Importância das perdas	Nº de pessoas afectadas	Clas.	PAR			
nenhuma	0	0	0			
pequena	1 a 10	1	10			
média	11 a 50	2	50			
elevada	51 a 100	3	100			
muito elevada	> 100	4	nº pess			

2.3.3.3 Identificação e avaliação dos modos de rotura

A identificação e avaliação dos modos de rotura é realizada através dos diagramas de *Localização, Causa e Indicadores das Falhas (LCI)*, assim designados por constituírem as áreas de diagramas arborescentes relativas à localização da componente da obra em estudo, à causa da rotura da componente e aos indícios ou evidências (indicadores) dos efeitos dos modos de rotura na componente em estudo.

Na figura 3 apresenta-se, a título de exemplo, uma parte de um diagrama LCI para barragens de aterro.

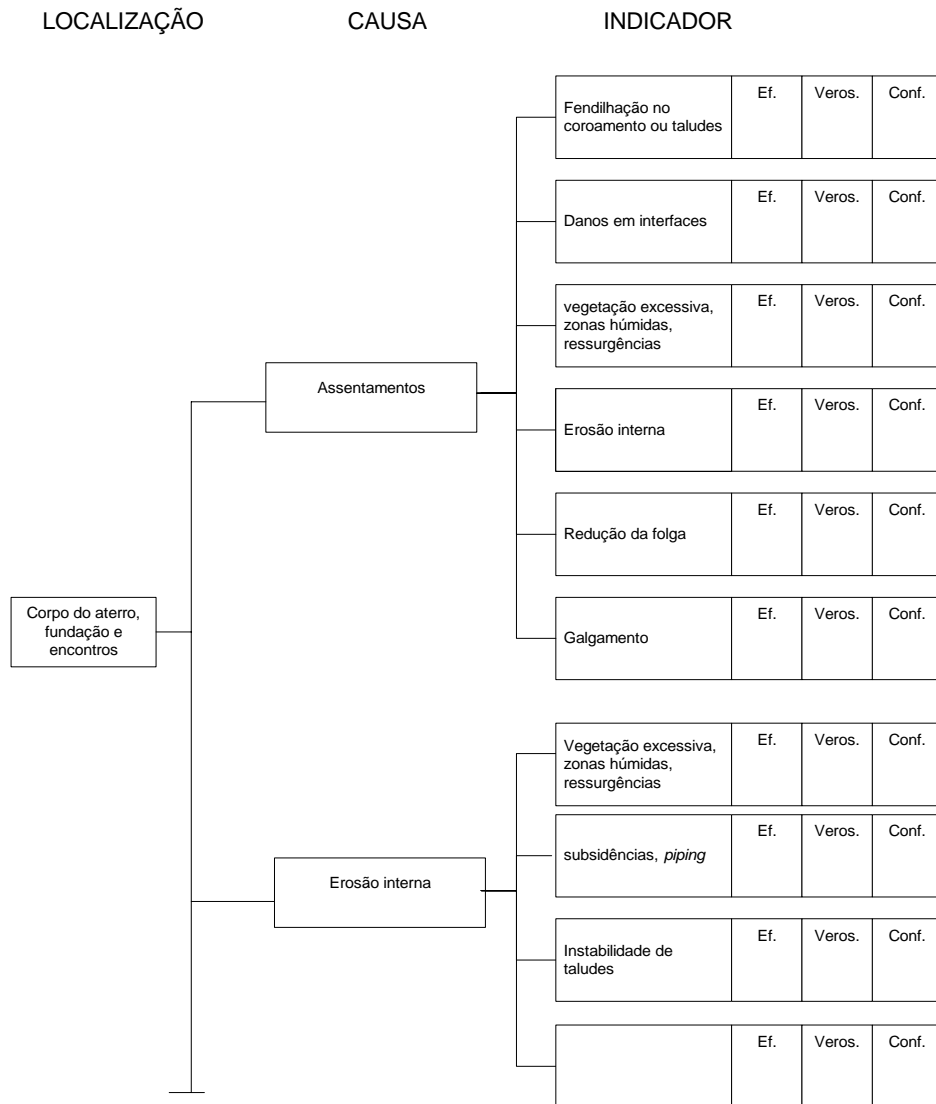


Fig. 3 – Parte de um diagrama LCI para barragens de aterro (adaptado de Hughes *et al.*, 2000)

As *causas* e os *indicadores* dos modos de rotura são classificados (de 1 a 5) através de três atributos, designadamente:

1. *efeito* (*Ef.* na figura 3) relaciona o *indicador* induzido pela *causa* em análise numa determinada componente (*localização*) com a rotura, total ou parcial, da obra (1 para baixo, 5 para elevado);
2. *verosimilhança* (*Veros.* na figura 3) da rotura da componente no caso da *causa* em análise e *indicador* em estudo (1 para baixa, 5 para elevada);
3. grau de *confiança* (*Conf.* na figura 3) das estimativas do *efeito* e da *verosimilhança*, face, designadamente, às incertezas no conhecimento da componente em análise (5 para baixo ou duvidoso, 1 para elevado).

Para auxiliar a atribuição de classificações ao *efeito* e à *verosimilhança* foi realizada uma análise pormenorizada dos desempenhos históricos das barragens no Reino Unido. Com base nessa análise, Hughes *et al.* (2000) fornecem informação complementar que contribui para a classificação destes atributos.

#### 2.3.3.4 Estimativa e ordenação de índices

Concluída a aplicação dos diagramas LCI há que proceder à ordenação dos conjuntos *Localização/Causa/Indicador*. Esta ordenação é feita com base nos seguintes índices:

- i) *Índice de ordenação*, determinado pelo produto das classificações do atributo *efeito* pelo atributo *verosimilhança*;
- ii) *Índice de confiança*, igual ao grau de *confiança*;
- iii) *Índice de criticalidade*, determinado pelo produto das classificações atribuídas ao *efeito*, à *verosimilhança* e ao grau de *confiança*.

A análise conjunta dos valores dos diferentes índices permite hierarquizar os vários conjuntos *localização/causal/indicador* em estudo, função dos objectivos, por exemplo, para definir prioridades de medidas de reabilitação (índice de ordenação) e para definir trabalhos de investigação complementar (índice de criticalidade)

Finalmente, o *índice de risco* é calculado multiplicando o *índice de criticalidade* pelo *índice global de impacto* (relativo às consequências).

#### 2.3.3.5 Resultados da análise

##### **Avaliação e apreciação das consequências**

No quadro 3 apresenta-se a avaliação das consequências da rotura da ensecadeira.

Quadro 3 – Avaliação das consequências da rotura da ensecadeira de Odelouca

Vale próximo (< 5 km)						
Cons.	Justificação	Clas.	Peso	Class. ponderada	PAR	PPV
Tipo 1	Estimativa de 3 construções com ocupação permanente (há cerca de 15 construções, algumas bastante degradadas). Indicam-se entre parênteses os valores de PAR e PPV reduzidos em relação ao recomendado (PAR calculado através da equação: $2 \times n^{\circ}$ de habitações).	1	0,15	0,15	30 (6)	15 (3)
Tipo 2	Inexistentes	0	0,15	0,00	0	0
Tipo 3	Caminhos de terra batida de acessibilidade às edificações e utilizados para turismo. Entre parênteses os valores reduzidos relativamente ao recomendado, por as acessibilidades servirem essencialmente as edificações e o turismo ser sazonal.	1	0,10	0,10	25 (6)	13 (3)
Tipo 4	Eventual pesca junto à ribeira. Entre parênteses os valores reduzidos que se consideram mais adequados ao vale em questão.	1	0,05	0,05	10 (2)	5 (1)
Tipo 5	Inexistentes	0	0,25	0,00	-	-
Tipo 6	Inexistentes	0	0,25	0,00	-	-
Tipo 7	Zonas agrícolas de subsistência. <i>Habitats</i> naturais de relevo	3	0,05	0,15	-	-
<b>Totais parciais</b>				<b>0,45</b>	<b>33 (7)</b>	
Factores				100	1	
<b>Totais ponderados</b>				<b>45</b>	<b>33 (7)</b>	
Vale afastado (5 km a 30 km)						
Cons.	Justificação	Clas.	Peso	Class. ponderada	PAR	PPV
Tipo 1	Estimativa de 30 construções com ocupação permanente (haverá cerca de 60 construções). A zona baixa de Silves seria afectada com velocidades que se estimam baixas pelo que na estimativa dos valores reduzidos se consideraram apenas 20 habitações.	2	0,15	0,30	100 (20)	16 (6)
Tipo 2	Estimativa (zona baixa de Silves e, eventualmente, Portimão). Os valores reduzidos tiveram em conta as características particulares da propagação da cheia.	1	0,15	0,15	150 (40)	20 (9)
Tipo 3	Diversos caminhos de terra batida e atravessamentos da ribeira. Estrada nacional, incluindo vários viadutos. Interrupção das ligações às duas cidades mais próximas, Silves e Portimão, condicionando intervenções de socorro.	2	0,10	0,20	50	10
Tipo 4	Na zona baixa de Silves, designadamente, infraestruturas desportivas e de lazer.	3	0,05	0,15	100 (20)	16 (6)
Tipo 5	Pequenas indústrias na zona baixa de Silves	1	0,25	0,25	-	-
Tipo 6	Linhas de baixa, média e alta tensão	2	0,25	0,50	-	-
Tipo 7	Zonas agrícolas e <i>habitats</i> naturais	3	0,05	0,15	-	-
<b>Totais parciais</b>				<b>1,70</b>	<b>62 (31)</b>	
Factores				30	1	
<b>Totais ponderados</b>				<b>51,0</b>	<b>62 (31)</b>	

Para as classificações atribuídas de acordo com a metodologia exposta anteriormente, o *índice global de impacto* é igual a:

$$IGI=100 \times 0,45 + 1 \times 33 + 30 \times 1,70 + 1 \times 62 = 191$$

valor que corresponde a um impacto médio, sendo a perda potencial de vidas igual a 95.

Para os valores reduzidos de PAR e PPV, indicados entre parênteses no quadro 3, que se julgam mais adequados ao vale em questão, o IGI será igual a 134 (impacto baixo) e a perda potencial de vidas igual a 38. Considera-se, ainda assim, que os danos na zona baixa de Silves, sobretudo os associados a perdas de vidas humanas, poderão estar sobrestimados, já que esta zona se desenvolve em redor do rio Arade, cujo vale, mais largo e com inclinação suave, originará a redução substancial das velocidades dos caudais descarregados. No que se refere a este trecho específico, as incertezas associadas às consequências resultam, em parte, da indisponibilidade de estudos de propagação da onda de cheia.

#### **Identificação e avaliação dos modos de rotura**

Na figura 4 apresenta-se a avaliação dos modos de rotura da ensecadeira de Odelouca, de acordo com a metodologia exposta anteriormente.

As classificações atribuídas (figura 4) tiveram em conta a análise dos elementos de projecto e construção consultados, a visita de inspecção à barragem e o conhecimento que se detém do historial da infra-estrutura em estudo.

#### **Apresentação e ordenação dos índices**

No quadro 4 apresentam-se os índices de ordenação, criticalidade, confiança e risco. No que se refere ao índice de risco, este foi calculado para os dois valores de IGI apresentados anteriormente, embora, de acordo com a metodologia exposta, não houvesse lugar à avaliação dos modos de rotura e ao cálculo dos correspondentes índices no caso do IGI=134, já que o impacto seria classificado como baixo. Por outro lado, as consequências foram avaliadas apenas para a situação de rotura total por galgamento, pelo que a ordenação dos vários conjuntos LCI a partir dos índices de criticalidade e de risco é semelhante.

Como se pode observar dos resultados obtidos, os conjuntos LCI com maior índice de ordenação são os seguintes: i) *órgãos hidráulicos/capacidade de vazão inadequada/subida de água a montante*; ii) *órgãos hidráulicos/obstruções/redução da capacidade de vazão* e iii) *corpo da ensecadeira, fundação e encontros/erosão externa/galgamento*, todos com  $ind_{ord}=20$ . Estes três conjuntos LCI têm valores idênticos de  $ind_{ord}$  e de  $ind_{crit}$  porque se atribuiu um grau de *confiança* elevado (1) às



estimativas do *efeito* e da *verosimilhança*. Trata-se de conjuntos que não são independentes.

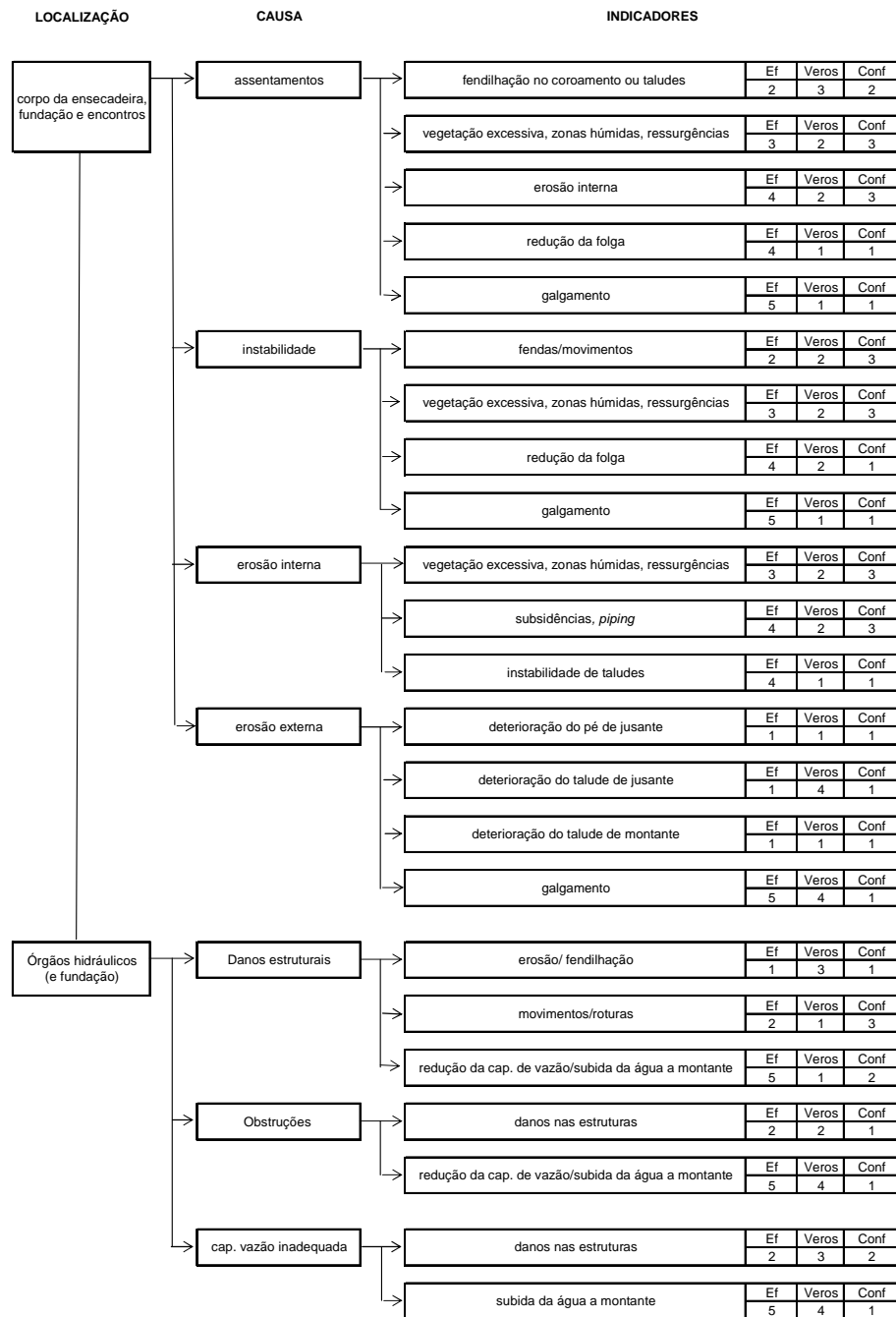


Fig. 4 – Diagrama LCI para a ensecadeira de Odelouca

**Quadro 4 - Apresentação dos índices de ordenação, criticalidade, confiança e risco**

LOCALIZAÇÃO	CAUSA	INDICADOR	ind <sub>ord</sub>	ind <sub>crit</sub>	ind <sub>conf</sub>	ind <sub>risco</sub>	ind <sub>risco</sub>
						(IGI=191)	(IGI=134)
Corpo da ensecadeira, fundação e encontros	Assentamentos	Fendilhação no coroamento ou taludes	6	12	2	2292	1608
		Vegetação excessiva, zonas húmidas, ressurgências	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>3438</b>	<b>2412</b>
		Erosão interna	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>4584</b>	<b>3216</b>
		Redução da folga	4	4	1	764	536
		Galgamento	5	5	1	955	670
	Instabilidade	Fendas/ movimentos	4	12	3	2292	1608
		Vegetação excessiva, zonas húmidas, ressurgências	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>3438</b>	<b>2412</b>
		Redução da folga	8	8	1	1528	1072
		Galgamento	5	5	1	955	670
	Erosão interna	Vegetação excessiva, zonas húmidas, ressurgências	<b>6</b>	<b>18</b>	<b>3</b>	<b>3438</b>	<b>2412</b>
		subsidências, <i>piping</i>	<b>8</b>	<b>24</b>	<b>3</b>	<b>4584</b>	<b>3216</b>
		Instabilidade de taludes	4	4	1	764	536
	Erosão externa	Deterioração do pé de jusante	1	1	1	191	134
		Deterioração do talude de jusante	4	4	1	764	536
		Deterioração do talude de montante	1	1	1	191	134
		Galgamento	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>3820</b>	<b>2680</b>
Órgãos hidráulicos (e fundação)	Danos estruturais	Erosão/ fendilhação	3	3	1	573	402
		Movimentos/ roturas	2	6	3	1146	804
		Redução da capac.vazão/ subida da água a montante	5	10	2	1910	1340
	Obstruções	Danos nas estruturas	4	4	1	764	536
		Redução da capac.vazão/ subida da água a montante	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>3820</b>	<b>2680</b>
	Cap. de vazão inadequada	Danos nas estruturas	6	12	2	2292	1608
		Subida da água a montante	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>1</b>	<b>3820</b>	<b>2680</b>

Os conjuntos LCI que correspondem aos maiores valores de ind<sub>cri</sub> são os correspondentes ao *corpo da ensecadeira, fundação e encontros/erosão interna/subsidências, piping* e *corpo da ensecadeira, fundação e encontros/assentamentos/erosão interna* com ind<sub>cri</sub>=24. Este valor e, duma maneira geral, os ind<sub>crit</sub> de conjuntos relativos aos indicadores: i) *erosão interna*, ii) *subsidências e piping* e iii) *vegetação excessiva, zonas húmidas, ressurgências*, resultam de incertezas associadas à resposta dos aterros face ao estabelecimento de percolação durante os períodos em que os níveis de água a montante se mantiverem elevados.

De acordo com a metodologia apresentada, e pelo facto do índice de risco ser calculado pelo produto do IGI pelo ind<sub>crit</sub>, e não pelo ind<sub>ord</sub>, resultam superiores os índices de risco associados a causas e/ou indicadores relacionados com a erosão interna, em detrimento dos relacionados com o galgamento, que se consideram críticos.

Medidas de intervenção com vista à redução dos riscos associados aos conjuntos LCI críticos (maior índice de ordenação) estão a ser implementadas pelo INAG e passam pela retoma da empreitada no curto prazo, em conjunto com medidas que visam a redução da probabilidade de ocorrência dos modos de rotura em causa e a mitigação das consequências, no período que decorrerá até que os aterros do corpo da barragem ultrapassem a cota do coroamento da ensecadeira.

#### 2.3.4 Conclusões e considerações finais

A metodologia utilizada no presente estudo insere-se na família das metodologias semi-quantitativas e destina-se à realização, no domínio das barragens, de análises de riscos relativas a modos de rotura que impliquem a libertação para jusante da totalidade ou de parte do volume armazenado na albufeira.

Os modos de rotura só são objecto de estudo nos casos em que as consequências correspondam a impactos médios a elevados. Assim, para impactos baixos, a análise não deverá ser classificada como uma análise de riscos, mas sim de consequências. Apesar da classificação de impacto baixo poder significar a perda de um número significativo de vidas (> 60), a metodologia não prevê a necessidade de avaliação dos modos de rotura nem de mitigação dos riscos.

A metodologia utilizada é de aplicação expedita, pouco morosa e versátil, no sentido em que pode ser aplicada a barragens relativamente às quais se disponha de reduzida informação. Não obstante, quanto mais elementos sobre o projecto, construção e exploração estiverem disponíveis maior será, naturalmente, a fiabilidade da análise.

Uma das características que distingue a metodologia utilizada da generalidade das metodologias semi-quantitativas é o recurso aos diagramas LCI para avaliação dos modos de rotura. Trata-se de uma técnica que privilegia os resultados das inspecções visuais como forma de avaliação dos modos de rotura. Como principal vantagem associada a esta técnica, sublinha-se o facto de poder ser utilizada mesmo quando se dispõe de pouca informação sobre o historial e desempenho da obra e, como principal desvantagem, a existência de um conjunto de modos de rotura que se podem desenvolver sem serem precedidos, em tempo útil, de indícios ou evidências dos mecanismos em curso. Pelas mesmas razões, a sua aplicação a barragens que ainda não foram solicitadas pelas acções hidrostáticas a que virão a estar sujeitas é de interesse limitado.

A utilização dos diagramas LCI coloca, aliás, algumas dificuldades, designadamente associadas à interdependência de alguns dos conjuntos LCI, o que compromete a obtenção de um índice de risco global. Acresce que o cálculo do índice de risco pelo produto entre o índice de criticalidade e o índice global de impacto pode conduzir a valorizações erradas dos modos de rotura críticos. Por outro lado, a existência de comportamentos anómalos que são caracterizados, nalguns casos, como *indicadores* e, noutros, como *causas*, embora plausível, gera confusão na aplicação do método e dificulta a atribuição de classificações. Constitui também fonte de confusão a utilização

do termo *causas* para designação quer de acontecimentos iniciadores (ex: obstruções) quer de modos de rotura (ex: erosão externa).

Os principais benefícios que se podem atribuir à metodologia utilizada são: i) a contribuição para a sistematização do conhecimento do sistema e para a reflexão sobre os modos plausíveis de rotura; ii) a ênfase na incerteza, conferindo o *índice de confiança* uma medida da sua avaliação e iii) a clarificação de prioridades de intervenção, através da hierarquização dos diversos modos de rotura. No que se refere às principais limitações, salientam-se: i) o facto de não ser possível obter um índice de risco global; ii) a classificação necessariamente subjectiva dos atributos *efeito*, *verosimilhança* e *confiança*, que pode ser fonte de erros significativos e iii) a inexistência de valores padrão que permitam uma avaliação global dos resultados, em forma de índice.

### **3. ACTIVIDADES ASSOCIADAS**

#### **3.1 Participação em eventos de divulgação.**

A gestão e análise de riscos é, actualmente, um tema incluído em conferências ou outras reuniões técnico-científicas de engenharia ou relacionadas com recursos naturais ou com o ambiente. Em Portugal, e no âmbito dos riscos tecnológicos, salienta-se a realização, em 2005, de três eventos que contaram com a participação de membros do Grupo de Trabalho:

- 1) “I Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade”, de 11 a 13 de Maio de 2005, no centro de Congressos do Instituto Superior Técnico;
- 2) Seminário “Barragens: Tecnologia, Segurança e Interacção com a Sociedade”, de 27 a 29 de Outubro de 2005, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- 3) Workshop “Avaliação do Risco e Segurança de Barragens - Avanços Recentes no Desenvolvimento de Métodos de Análise”, em 16 de Junho de 2005, no Instituto Superior Técnico.

O primeiro evento abrangeu um leque alargado de áreas da engenharia e incluiu uma sessão dedicada às barragens.

O segundo evento constituiu uma oportunidade muito importante para a apresentação e discussão do tema perante uma assistência especializada e interessada na engenharia de barragens. Nesta reunião, membros do grupo apresentaram trabalhos referentes às actividades em curso.

O terceiro evento foi realizado no âmbito de um projecto de investigação e teve por objectivo divulgar avanços recentes na avaliação dos riscos (consequências) associados a barragens.

No Instituto Superior Técnico, o Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura tem em actividade, desde 2003, um grupo informal de reflexão e coordenação denominado “Plataforma Departamental Intersectorial sobre Gestão e Análise dos Riscos”, cujos objectivos são a dinamização do tema e a criação de sinergias. Este grupo incorpora docentes das áreas de geotecnia, hidráulica, estruturas (sismos) e incêndios e tem em preparação um livro conjunto sobre o tema.

### 3.2 Artigos de divulgação

Identificam-se subsequentemente os artigos divulgados nos encontros nacionais anteriormente referenciados no âmbito das análises de riscos de barragens.

Andrea Brito, Lurdes Pimenta, Laura Caldeira e Teresa Viseu (2005), *Rotura da ensecadeira de Odelouca. Aplicação de uma técnica simplificada de cálculo dos hidrogramas de cheia*; Barragens, Tecnologia, Segurança e Interação com a Sociedade. Lisboa, LNEC, Outubro.

A. Betâmio de Almeida (2005), *Gestão e análise do risco em engenharia. O caso dos vales com barragens – exemplo de aplicação na engenharia civil e actividades em Portugal*; 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, IST, Maio.

A. Betâmio de Almeida e J. B. Santos (2005), *Incerteza na análise do risco. Caso de ruptura de uma barragem de enrocamento*, Barragens, Tecnologia, Segurança e Interação com a Sociedade. Lisboa, LNEC, Outubro.

I. Ferreira (2005), *Controlo de Segurança das Barragens na EDP Produção*; 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, IST, Maio.

Jovelino de Matos Almeida (2005), *A ensecadeira de Odelouca, uma situação imprevista de (in)segurança*; Barragens, Tecnologia, Segurança e Interação com a Sociedade. Lisboa, LNEC, Outubro.

J. B. Santos e A. Betâmio de Almeida (2005), *Incerteza na análise do risco. Caracterização e propagação de incertezas na simulação de ruptura de barragens*; 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, IST, Maio.

J. M. Mendes, P.M. Palrilha, A.O. Tavares (2005), *Percepção ao Risco e Gestão de Emergência Associados a Inundações*; 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, IST, Maio.

Laura Caldeira, Lurdes Pimenta e A. Silva Gomes (2005), *Enquadramento das análises de riscos e a sua aplicação a barragens de aterro*; Barragens, Tecnologia, Segurança e Interacção com a Sociedade. Lisboa, LNEC, Outubro.

Lurdes Pimenta, Laura Caldeira e A. Silva Gomes (2005), *Análise de riscos da ensecadeira de Odelouca. Aplicação de uma metodologia simplificada com base em diagramas LCI*; Barragens, Tecnologia, Segurança e Interacção com a Sociedade. Lisboa, LNEC, Outubro.

Lurdes Pimenta e Maranha das Neves (2005), *Metodologia de Gestão de Riscos em Barragens*; 1º Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, Lisboa, IST, Maio.

### **3.3 Outras actividades.**

De entre as diversas actividades associadas ao trabalho do grupo que decorreram em 2005 salienta-se a continuação dos trabalhos da revisão do regulamento de Segurança de Barragens (RSB), em sede de Sub-Comissão própria do Conselho Superior de Obras Públicas da qual fazem parte como vogais os membros do Grupo A. Silva Gomes e A. Betâmio de Almeida. Os trabalhos de revisão do RSB estão em fase adiantada de desenvolvimento e espera-se que a versão final constitua um avanço e que venha a constituir um potencial incentivo à aplicação de novas metodologias de análise, nomeadamente no que concerne a avaliação dos riscos.

Salienta-se, também, a concretização de um projecto de investigação financiado pela Fundação de Ciência e Tecnologia e que envolveu o Instituto Superior Técnico (CEHIDRO), a Faculdade de Ciência e Tecnologia de Coimbra e o Instituto do Mar (IMAR) subordinado ao tema de “Ruptura de Barragens: estudo de causas naturais e tecnológicas e modelação das questões hidrodinâmicas e sedimentares associadas”, coordenado por A. Betâmio de Almeida, Antunes do Carmo e Luís Lemos.

## **4. ACTIVIDADES A DESENVOLVER EM 2006.**

As actividades do Grupo do decurso de 2006 seguirão as linhas de orientação fundamentais que se resumem subseqüentemente.

- Início da aplicação de metodologias de análise do risco a uma barragem de betão.
- Envio do questionário, elaborado em 2005, a investigadores e entidades potencialmente envolvidos na análise de riscos.

- Estabelecimento de contactos com as Comissões Nacionais das Grandes Barragens sobre o desenvolvimento do estudo, propostas de metodologias e aplicações concretas de análise de riscos.
- Continuação da actualização do glossário apresentado no relatório de Progresso n.º 1 e de recolha bibliográfica para o arquivo.
- Elaboração do relatório final das actividades do Grupo em 2006.
- Preparação de uma acção de divulgação em 2007.
- Preparação do Boletim.

*Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens*

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens  
Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens  
Lisboa, Dezembro de 2006.

António Silva Gomes

António Betâmio de Almeida

António Tavares de Castro

José Paixão

Laura Caldeira

Lurdes Pimenta

Teresa Viseu



ANEXOS



## QUESTIONÁRIO A ENVIAR ÀS COMISSÕES NACIONAIS

The Portuguese National Commission on Large Dams created a Task Group to study and test the application of risk analysis methodologies.

After having collected specialized bibliography and studied the most common risk analysis methods, the Task Group began to test the application of some of these methods to an embankment dam and to a concrete dam in order to evaluate the practical difficulties to be overcome.

Being this matter of interest of almost all the countries belonging to the International Commission on Large Dams, as showed by the participation in the Committee on Dams Safety that prepared the bulletin entitled "Risk assessment in dam safety management. A reconnaissance of benefits, methods and current applications", it was considered useful to prepare an easy and friendly questionnaire in order to:

- know the state of development of similar studies in other countries;
- know if the different national Regulations or Guidelines already consider the dams risk analysis approaches;
- exchange knowledge and experience in this field.

The Portuguese National Committee on Large Dams thanks in advance for your kind cooperation. The main results of this inquiry will be sent to all participating National Committees.

### 4.1 Questionnaire:

1. Which is the general position of your National Committee about the use of risk analysis methodologies in the dam engineering field?

Favourable     Unfavourable     Waiting for effective results of applications abroad

Please indicate the reasons why your National Committee adopt this position.

2. Have you already developed dam risk analysis studies?

Yes     No

If you answered yes, please indicate the scope, objectives, used methods and available references and, if they can be downloaded, the corresponding sites.

3. Is your National Committee interested to exchange knowledge and experience in dam risk analysis?

Yes  No

If you answered yes, please indicate the terms of collaboration envisaged.

4. Do the Regulations or Guidelines about dams in your country include any rules considering the use of risk analysis methodologies?

Yes  No

If you answered yes, please indicate the rules and, if possible, the framework within which there intended to be used.

5. Have the dam experts of your country published any works dealing with dam risk analysis?

Yes  No

If you answered yes, please indicate the references and, if they can be downloaded, the corresponding sites.

6. If you answered yes to the previous question, please indicate, in the following table, the characteristics of the developed studies according to the legend presented here after.

Reference	Characteristics of the applications				
	Field 1	Field 2	Field 3	Field 4	Field 5

**LEGEND :**

**Field 1**

TS – Theoretical study  
 CS – Case study

**Field 2**

PG – Concrete gravity  
 CB – Concrete buttress  
 VA – Concrete arch  
 TE – Earthfill  
 ER – Rockfill  
 PG (M) – Masonry gravity  
 CB (M) – Masonry buttress  
 MV (M) – Masonry multi-arch  
 RCC – Rolled compacted concrete

**Field 3**

GRA - Global risk analysis (all risks considered)  
 PARA – Partial risk analysis (only some risks were considered)

**Field 4**

PRA - Portfolio risk analysis  
 IRA – Individual risk analysis

**Field 5**

QSqRA - Qualitative or semi-quantitative risk analysis  
 QRA – Quantitative Risk Analysis

## QUESTIONÁRIO A ENVIAR A ENTIDADES NACIONAIS

A Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens (CNPGB) criou um Grupo de Trabalho para estudar e testar a aplicação de metodologias de análises de riscos a barragens.

Na sequência da recolha de bibliografia especializada e do estudo dos métodos mais comuns de análise de riscos, o Grupo de Trabalho desenvolveu uma aplicação de um método a uma ensecadeira em aterro, tendo em curso uma aplicação de um outro método a uma barragem de betão. Essas aplicações visam um mais completo conhecimento dos fundamentos dos métodos e das suas vantagens e insuficiências bem como das dificuldades a ultrapassar.

Sendo a análise de riscos uma área em expansão, em particular no domínio da Engenharia (quer a nível internacional quer a nível nacional), considerou o Grupo de Trabalho da maior utilidade elaborar um questionário, que se pretendeu ser de resposta simples e expedita, a enviar às entidades nacionais interessadas por forma a:

- Obter informações sobre o estágio actual de desenvolvimento de estudos similares;
- Promover a troca de conhecimentos e experiências neste domínio;
- Recolher informações sobre eventuais aplicações de métodos de análises de riscos com resultados divulgados, em vias de divulgação ou susceptíveis de serem transmitidos ao Grupo de Trabalho em condições previamente definidas.

A CNPGB agradece desde já a colaboração que venha a ser dada ao Grupo de Trabalho e compromete-se a dar conhecimento a todas as entidades que respondam ao Inquérito dos principais resultados obtidos, com excepção dos aspectos que devam merecer a necessária reserva.

### 4.2 Inquérito:

1. Como encara a Instituição o uso de metodologias de análise de riscos nas suas áreas de actividade

Com muito interesse  Com algum interesse  Posição de expectativa face a eventuais resultados de aplicações  Com cepticismo  Sem interesse

Explicite, por favor, as razões que fundamentam a adopção da posição acima indicada.

2. A Instituição tem em curso estudos e/ou aplicações sobre metodologias de análise de riscos?

Não     Sim, de carácter “académico”     Sim, com aplicações práticas

Se tiver respondido sim, indique, por favor, o âmbito, objectivos, métodos usados e referências disponíveis e, caso estas sejam susceptíveis de serem acedidas via internet, os sites correspondentes.

3. A Instituição está interessada em trocar conhecimentos e experiências no domínio da análise de riscos?

Sim     Não

Se respondeu sim, indique, por favor, as condições de colaboração perspectivadas.

4. Há, nas áreas de actividade da Instituição, Regulamentos, Procedimentos ou Recomendações que incluam regras relativas ao uso de metodologias de análise de riscos?

Sim     Não

Se respondeu sim indique, por favor, as referidas regras e, se possível, o enquadramento em que elas são usadas ou se pretendem usar.

