



Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens

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



**1º RELATÓRIO DE PROGRESSO
(JANEIRO DE 2005)**

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. TRABALHO DESENVOLVIDO	4
2.1 – Recolha bibliográfica e organização da informação.....	4
2.2 - Glossário	5
2.3 - Métodos de análise de riscos.....	5
2.3.1 - HAZOP	7
2.3.2 - FMEA e FMECA	7
2.3.3 - ETA	8
2.3.4 - FTA	9
2.3.5 - Nó borboleta.....	10
3. ACTIVIDADE A DESENVOLVER NO DECURSO DE 2005.....	11
Anexo I - Arquivo dos documentos existentes em suporte informático (Páginas exemplificativas)	
Anexo II - Glossário (Versão 1)	
Anexo III - Métodos de análise de riscos	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1– Representação esquemática do método Nó Borboleta (adaptado de INERIS, 2003).....	10
--	----



Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens

GRUPO DE TRABALHO DE ANÁLISE DE RISCOS EM BARRAGENS

1º RELATÓRIO DE PROGRESSO

JANEIRO DE 2005

1. INTRODUÇÃO

A Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens (CNPGB) decidiu criar um Grupo de Trabalho com o objectivo de proceder à apropriação e ao desenvolvimento dos conhecimentos sobre a análise de riscos em geral e, em particular, no domínio da segurança das barragens e dos vales a jusante.

Considerando a terminologia adoptada pelo Comité de Segurança, da Comissão Internacional das Grandes Barragens (CIGB), no boletim intitulado “Risk assessment in dam safety management. A reconnaissance of benefits, methods, and current applications”, a gestão do risco (*risk management*) consiste na aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas às tarefas de identificação (*identification*), análise (*analysis*), apreciação (*evaluation*), avaliação (*assessment*), mitigação (*mitigation*) e controlo (*control*) do risco.

Atendendo aos objectivos que o Grupo de Trabalho se propôs atingir, os estudos a desenvolver referir-se-ão à análise de riscos, sem prejuízo de, sempre que oportuno, possível e considerado útil do ponto de vista do enquadramento do trabalho em curso, serem também consideradas matérias envolvidas noutras componentes da gestão dos riscos associados a barragens. A análise de riscos será entendida como a utilização da informação disponível para estimar os riscos para pessoas, bens e ambiente decorrentes da existência de uma ou de um conjunto de barragens, o que pressupõe a identificação dos riscos, o estudo dos modos através dos quais se podem materializar e a estimativa das “probabilidades” dessa materialização e da gama de consequências associadas a cada um dos riscos identificados.

Os engenheiros envolvidos no projecto, construção e exploração das barragens têm presente que a segurança absoluta é inatingível. Mas, desde sempre, procuraram que o nível de segurança fosse o mais elevado possível¹. Para além da segurança (por forma a não atingir os estados limites últimos), os aspectos mais relevantes a ter em conta são, pela ordem indicada, a funcionalidade (não excedência de estados limites de utilização), a durabilidade (por forma a que não se registem deteriorações significativas

¹ Como dizia André Coyne “En matière des barrages c’est la sécurité ce que compte plus”

durante o período de vida útil da obra) e a economia (as soluções de projecto e os procedimentos de exploração a adoptar devem ser seleccionados tendo em conta o investimento inicial e os custos de exploração e de manutenção). No que se refere à segurança, pode afirmar-se que o êxito tem sido, ao longo dos tempos, crescente, como o comprova o cada vez menor número de barragens que têm colapsado, quando comparado com o número de barragens existente. Quanto à funcionalidade, os registos disponíveis indicam que a percentagem das barragens nas quais se verificaram deteriorações é igualmente aceitável. Os dados conhecidos sobre a durabilidade indicam que, numa percentagem significativa de casos, a obra se mantém em serviço muito para além do período de vida útil considerado no projecto, sendo que este período tende a aumentar (dos 50 anos antes estabelecidos para os cerca de 100 anos actualmente aceites).

Às considerações anteriores deve acrescentar-se que uma parte significativa dos problemas de segurança, funcionalidade, durabilidade e economia se ficou a dever ao incumprimento dos regulamentos e normas em vigor ou a erros ou omissões. Assim, ao reforço das garantias de cumprimento dos normativos e ao exercício sistemático de um adequado controlo de qualidade dos procedimentos envolvidos deverá corresponder uma significativa diminuição da percentagem daqueles tipos de problemas. No entanto, e independentemente desta actuação, há motivos para, tal como aconteceu em alguns países, com destaque para a Austrália, os Estados Unidos da América, o Canadá, a Holanda e, mais recentemente, o Reino Unido, promover um processo de apropriação e de adaptação dos conhecimentos disponíveis na área da *análise de riscos*, designadamente os que resultam das aplicações nos domínios tecnológico e financeiro que têm conhecido, nos últimos anos, um grande desenvolvimento. No domínio da segurança das barragens, a análise de riscos tem em vista, no essencial, não a substituição da prática tradicional mas antes o seu enquadramento. Assim, espera-se o aumento dos níveis de segurança e a melhoria das condições de funcionalidade, uma gestão mais eficaz dos recursos alocáveis à sua concretização e a satisfação de exigências que a Sociedade tem vindo a formular, com veemência crescente, nomeadamente em matéria da sua participação activa na explicitação e na aceitação dos riscos, da transparência dos processos de decisão e da garantia da vigilância e do controlo dos riscos.

O esperado aumento dos níveis de segurança e funcionalidade tem especialmente a ver com a abordagem sistemática, tendencialmente exaustiva, que a aplicação de métodos e técnicas de análise de riscos usados noutros domínios, com as necessárias adaptações, possibilita, nomeadamente no que se refere à identificação dos riscos, aos mecanismos que podem induzir a sua materialização ou ainda às formas de os prevenir ou de minimizar as respectivas consequências. Os referidos métodos e técnicas podem revelar-se ainda de muita utilidade para, atendendo à escassez de recursos humanos e financeiros, estabelecer prioridades quanto ao uso desses meios em função dos riscos envolvidos, seja em termos dos aspectos a considerar no sistema constituído por uma barragem seja no âmbito de um “portfólio” de barragens geridas por um dono de obra ou administradas por uma entidade reguladora, apoiando assim os processos de tomada de decisão, nomeadamente no âmbito da gestão da segurança e do desempenho das barragens.

O envolvimento da Sociedade na explicitação e na aceitação dos riscos associados à existência de uma determinada barragem implica, em última análise, a

respectiva quantificação, de modo a que esses riscos possam ser comparados com os riscos associados a outras barragens, bem como a outras infraestruturas, actividades, etc. Este desiderato é de muito difícil obtenção, dado que cada barragem é um protótipo singular sendo, por isso, muito difícil obter populações com um mínimo de homogeneidade que possibilite um tratamento estatístico dos factores envolvidos.

Os estudos e aplicações dos métodos e técnicas de análise de riscos ao domínio da segurança das barragens iniciaram-se há pouco mais de uma dezena de anos e têm vindo gradualmente a ser utilizados em diversos países. Dando sequência, como lhe compete, à divulgação de novas metodologias no domínio das barragens, o Comité de Segurança da CIGB elaborou o boletim referido no segundo parágrafo desta Introdução, no qual são, de uma forma preliminar e genérica, expostas algumas noções fundamentais sobre os métodos e as técnicas envolvidos, as práticas de diversos países e a bibliografia disponível em 2001. O referido boletim inclui um glossário dos termos mais utilizados, o qual serviu de base à elaboração do glossário cuja primeira versão em português se apresenta em 2.2.

Salienta-se o facto de, apesar de ainda não terem demonstrado um particular entusiasmo pelos estudos e aplicações que serviram de base à elaboração do referido boletim, vários países com uma experiência consolidada no domínio das barragens se terem feito representar. Anota-se também o facto de, em diferentes países que não tiveram ainda actividade neste domínio, se terem constituído Grupos de Trabalho ou Comissões com objectivos semelhantes ao do Grupo de Trabalho da CNPGB².

Tal como proposto à CNPGB, as actividades a desenvolver pelo Grupo de Trabalho são essencialmente as seguintes:

- Elaboração de uma terminologia e de um glossário sobre análise de riscos em barragens;
- Identificação dos objectivos da análise de riscos;
- Identificação dos riscos (processo de reconhecimento, para cada tipo de acontecimento iniciador, dos modos plausíveis de rotura e outras ocorrências, incluindo os aparentemente menos significativos mas com potencial directo ou indirecto para conduzir a acidentes);
- Análise das disposições regulamentares nacionais e dos códigos internacionais sobre análise de riscos;
- Descrição e análise de metodologias qualitativas de análises de riscos;
- Descrição e análise de metodologias quantitativas de análises de riscos;
- Aplicação das metodologias anteriores a casos simples;
- Elaboração de recomendações para a realização de análises de riscos.

² Referem-se, como exemplos conhecidos, a publicação, em Abril de 2004, de um texto de um Grupo de Trabalho do Comité Nacional Italiano de Grandes Barragens sobre análise de riscos e a criação de um Comité Técnico, no seio da Comissão Suíça de Grandes Barragens, para desenvolver idêntico tema. É interessante mencionar que o texto do Comité Italiano saliente que, não havendo experiência neste domínio, nem disposições regulamentares a impor a sua realização, o estudo das metodologias de análise de riscos se justificou para, pelo menos, garantir uma actualização cultural dos meios técnicos e científicos de engenharia de barragens em Itália.

Nos pontos seguintes expõem-se as matérias tratadas no decurso de 2004 e referem-se as perspectivas de desenvolvimento do trabalho para o ano de 2005 que se afiguram viáveis.

2. TRABALHO DESENVOLVIDO

2.1 – Recolha bibliográfica e organização da informação

Como em qualquer processo que envolva o estudo e o desenvolvimento de novas áreas técnico-científicas, a apropriação de conhecimentos no respectivo âmbito, bem como no de áreas afins, requer a recolha de informação sobre elas publicada. Atendendo a que esta recolha foi naturalmente cometida a todos os membros do Grupo de Trabalho, afigurou-se essencial promover a sua organização, por forma a assegurar o fácil acesso a referências já identificadas e a incentivar a pesquisa de novas publicações.

A recolha da informação baseou-se fundamentalmente na consulta de bibliografia especializada e de documentação relativa a numerosos eventos, nomeadamente comunicações e relatos, apresentados em reuniões científicas realizadas nos últimos anos.

Os elementos recolhidos contêm informações sobre metodologias de análise de riscos que, do ponto de vista do trabalho em curso, se podem agrupar em três tipos distintos: i) informação relativa ao desenvolvimento dessas metodologias, independentemente do domínio de aplicação; ii) aplicações relativas a domínios que se podem considerar afins do domínio das barragens, como é o caso de instalações industriais; iii) aplicações específicas no domínio das barragens.

Refira-se que uma parte muito significativa dos trabalhos foi obtida por pesquisa na *World Wide Web* (WWW), onde diversos autores e instituições disponibilizam publicações sobre a matéria.

De entre as instituições que têm desenvolvido estudos e que editaram bibliografia relevante sobre análise de riscos em barragens indicam-se as seguintes: *International Commission on Large Dams* (ICOLD); *Australian Committee on Large Dams* (ANCOLD); *United States Committee on Large Dams* (USCOLD); *United States Bureau of Reclamation* (USBR); e *United States Army Corps of Engineers* (USACE). No que se refere, em particular, às três últimas instituições, salienta-se que, em geral, a bibliografia produzida está disponível na WWW.

Destacam-se ainda diversos grupos de investigação, muitos dos quais envolvem equipas de vários países, cuja produção científica no âmbito da análise de riscos em barragens está também acessível na WWW. É o caso do *Flood Risk Management Research Consortium* (Reino Unido), que mantém um *site* intitulado *FloodRiskNet* (<http://www.floodrisk.org.uk/>), da *NetWork on the Integrity Assessment of Large Concrete Dams* (NW-IALAD), responsável pelo *site* (<http://nw-ialad.uibk.ac.at>) e do *Department for Environment Food and Rural Affairs* (<http://www.defra.gov.uk/environment/water/rs/index.htm>).

Tendo em vista a organização da informação, bem como a sua rápida divulgação e disponibilização entre todos os elementos do grupo de trabalho, foi constituída uma *mailing list*, sediada num servidor do LNEC, a qual, para além de conter uma lista com os endereços de correio electrónico dos seus membros e arquivar automaticamente as mensagens trocadas, disponibiliza um arquivo organizado dos documentos existentes em suporte informático (Anexo I). Refira-se que todos os membros do grupo de trabalho podem, de qualquer posto de trabalho com acesso à WWW, consultar e actualizar os elementos existentes neste arquivo. Neste arquivo existe ainda uma base de dados contendo elementos relativos aos documentos que estão na posse do grupo de trabalho, mas que não existem em suporte informático, bem como versões, de trabalho e finais, dos documentos elaborados pelos elementos do grupo de trabalho.

O acesso a este arquivo documental está actualmente limitado aos elementos do grupo de trabalho.

2.2 - Glossário

Atendendo a que as metodologias de gestão do risco em barragens são relativamente recentes, é essencial que os termos de especialidade, i.e., que não façam parte do vocabulário comum, tenham um significado preciso, por forma a evitar que, devido a diferentes interpretações, se criem entraves ao seu estudo, desenvolvimento e posterior aplicação. Dado o *estado da arte* neste domínio em Portugal, considerou-se que, tanto quanto possível, se deveria procurar que as definições fossem compatíveis com as adoptadas pela Comissão Internacional das Grandes Barragens, designadamente no boletim intitulado “Risk assessment in dam safety management. A reconnaissance of benefits, methods and current applications”. Assim, a primeira versão de um glossário em língua portuguesa, que constitui o Anexo II ao presente relatório, resultou de uma tradução, com adaptações, do glossário que consta do referido boletim.

Pretende-se que o glossário seja um documento em actualização constante, ao qual serão acrescentados os termos que se julguem relevantes para o trabalho desenvolvido e retirados os que se considerem como não específicos ou não aplicáveis aos documentos elaborados. Admite-se, assim, que durante o período de actividade do grupo, a consulta de outras fontes bibliográficas e o contacto pessoal com especialistas internacionais venham a aconselhar alterações na actual versão do glossário. Serão, contudo, mantidos alguns termos do domínio da engenharia de barragens tradicional que, apesar de não serem específicos das metodologias de gestão do risco, se revelem essenciais para a compreensão da aceção em que são utilizados.

Para além dos termos e das definições, optou-se por incluir uma coluna na qual, quando possível e justificado, se incluem comentários, por vezes exemplificativos, com o objectivo de clarificar a definição adoptada.

2.3 - Métodos de análise de riscos

Com vista ao desenvolvimento de aplicações no domínio de barragens, foi realizado um levantamento dos métodos de análise de riscos disponíveis na bibliografia

especializada, apresentando-se seguidamente uma síntese dos mais relevantes. Do Anexo III consta uma súmula dos procedimentos e exemplos simples de aplicação dos referidos métodos.

A análise de riscos visa apoiar um processo de decisão, pelo que o seu nível de desenvolvimento e, conseqüentemente, o tipo de análise a empreender é função dos objectivos pretendidos e do enquadramento em que se inserem.

As análises de riscos podem classificar-se em:

- i) análises qualitativas,
- ii) análises semi-quantitativas e
- iii) análises quantitativas.

O carácter singular das barragens dificulta a implementação de análises de riscos quantitativas, que estão ainda em fase de investigação e consolidação. Em oposição, as análises de riscos qualitativas e semi-quantitativas podem à data, de uma maneira geral, ser objecto de aplicação na Engenharia de Barragens, sendo já, em alguns países, uma prática estabelecida.

Para apoio à implementação de análises de riscos existem ao dispor da Engenharia de Barragens diversos métodos, relativamente aos quais há já uma grande experiência de utilização noutras áreas técnico-científicas e um vasto conjunto de referências bibliográficas e de programas de cálculo automático que facilitam a sua aplicação.

De entre os métodos mais utilizados destacam-se aqueles que parecem adequar-se melhor a barragens, a saber:

- (i) HAZOP – Hazard and Operability Analysis (Análise dos Perigos e da Operacionalidade);
- (ii) FMEA – Failure Mode and Effect Analysis (Análise dos Modos de Falha e dos seus Efeitos) e FMECA – Failure Mode, Effect and Critically Analysis (Análise dos Modos de Falha, Efeitos e Severidade),
- (iii) ETA – Event Tree Analysis (Análise por árvore de eventos),
- (iv) FTA – Fault Tree Analysis (Análise por árvore de falhas),
- (v) Nœud Papillon (Nó borboleta).

A utilização na Engenharia de Barragens destes métodos está ainda, de uma maneira geral, em fase de desenvolvimento inicial, carecendo de experimentação que permita fundamentar uma reflexão mais aprofundada sobre as suas vantagens e limitações práticas. Efectivamente, a maior parte dos métodos foi desenvolvida para aplicação a sistemas mecânicos e/ou electrónicos, cujas características são bastante distintas das de obras como as barragens.

A realização de análises de riscos em barragens e a aplicação dos respectivos métodos, implica necessariamente um trabalho de equipa, com técnicos das várias áreas afins - geologia e geotecnia, hidráulica, estruturas, equipamentos hidromecânicos, equipamentos e instalações eléctricas, ambiente, sociologia, etc. – que detenham, designadamente, um conhecimento profundo das condicionantes, características e

comportamento das várias componentes da obra, bem como do meio sócio-económico e do ambiente envolvente.

Apresenta-se no item subsequente, de forma sucinta e para cada um dos métodos referenciados, o domínio possível de aplicação no âmbito da Engenharia de Barragens e os respectivos princípios. Um enquadramento muito sintético, os procedimentos de aplicação, incluindo alguns exemplos ilustrativos, são apresentados no Anexo III.

2.3.1 - HAZOP

Trata-se de um método desenvolvido no princípio dos anos 70 pela Sociedade Imperial de Indústrias Químicas e posteriormente adaptado para diferentes áreas científicas. É particularmente vocacionado para a análise sistemática dos desvios de determinadas grandezas com repercussão no comportamento do sistema, suas causas e consequências.

Este método pode, com algumas adaptações, ter uma aplicação privilegiada na Engenharia de Barragens na fase de construção, no âmbito das actividades de Fiscalização, e na fase de exploração, no âmbito da análise do comportamento das obras a partir dos dados de observação. Pode ainda ser aplicado na fase de Projecto, permitindo actuar na concepção e pormenorização de determinadas componentes da obra e na elaboração das respectivas especificações técnicas de apoio à construção, designadamente ao nível da detecção e prevenção de determinados desvios e da mitigação dos respectivos efeitos.

O método centra-se no sub-sistema objecto de análise e classifica os desvios das grandezas que caracterizam o seu comportamento mediante a adopção de palavras-chave, sendo a tarefa da equipa de análise determinar as causas e as consequências de tais desvios e propor acções correctivas.

Inicialmente desenvolvido para apoiar análises de risco qualitativas, foi posteriormente adaptado para análises semi-quantitativas, através da avaliação da severidade dos riscos, recorrendo a escalas de probabilidade e de gravidade.

O método HAZOP centra-se na resposta dos vários sub-sistemas e tem como principais vantagens o seu carácter sistemático e uma aplicação relativamente expedita. Como principal desvantagem, é de realçar o facto de não analisar explicitamente os modos de falha que podem determinar os desvios em causa. Acresce, no caso específico das barragens, a dificuldade em classificar os desvios possíveis com palavras-chave genéricas, aplicáveis às diferentes grandezas que podem caracterizar o comportamento dos vários sub-sistemas.

2.3.2 - FMEA e FMECA

O método FMEA (análise dos modos de falha e dos seus efeitos), utilizado pela primeira vez nos anos 40 na indústria de armamento dos EUA, tem hoje grande aplicação em diversas áreas científicas, como é o caso das indústrias química, petrolífera e nuclear.

Trata-se de um método particularmente adaptado ao estudo das falhas e respectivas consequências, passível de ser aplicado a materiais, a equipamentos ou a sistemas mais complexos.

Na Engenharia de Barragens pode ter uma aplicação transversal a todas as fases – concepção e projecto, construção, primeiro enchimento e exploração – e aos diferentes sub-sistemas em que uma barragem se pode subdividir, o que o torna um método particularmente interessante.

O FMEA é um método indutivo que permite avaliar, a partir de um determinado modo de falha, as respectivas causas e sequência de efeitos (locais, noutros sub-sistemas e terminais), assim como os meios de detecção e prevenção dos modos de falha (colapso ou perda de funcionalidade) e de mitigação dos seus efeitos.

O FMEA é um método de análise de riscos qualitativo, que pode ser adaptado para a realização de análises semi-quantitativas – designando-se então por FMECA (análise dos modos de falha, dos seus efeitos e severidade) – através da aplicação de escalas de probabilidade de ocorrência das falhas e de gravidade dos seus efeitos. Permite assim caracterizar a importância no funcionamento do sistema de cada um dos modos de falha, o impacto que estes têm sobre a sua fiabilidade e a dimensão das respectivas consequências.

A sistematização e o carácter metódico de análise dos vários sub-sistemas, respectivos estados de funcionamento, modos de falha e sequência de efeitos, podem ser consideradas as principais vantagens destes métodos, que permitem ainda uma reflexão fundamentada sobre os meios de detecção e prevenção e de mitigação dos respectivos efeitos.

O seu carácter exaustivo constitui contudo a sua principal limitação, pela morosidade e consequentes custos de aplicação.

2.3.3 - ETA

A análise por árvore de eventos foi desenvolvida no início dos anos 70 para apoio à implementação de análises de riscos em centrais nucleares. Actualmente é utilizada nas mais diversas áreas técnico-científicas.

Tratando-se de um método indutivo de análise dos possíveis resultados a partir de um determinado acontecimento iniciador, a árvore de eventos é particularmente adequada para a análise de sistemas que integrem diversas componentes/dispositivos de segurança. A árvore de eventos é também muitas vezes utilizada em análises de riscos após acidente.

O método permite calcular a probabilidade de ocorrência de sequências de eventos, podendo assim ser aplicado no âmbito das análises semi-quantitativas e quantitativas.

Na Engenharia de Barragens pode ser adoptado transversalmente em todas as fases – concepção e projecto, construção, primeiro enchimento e exploração – e aos vários sub-sistemas que compõem a barragem, à semelhança dos métodos FMEA e FMECA. No caso dos equipamentos hidromecânicos, a utilização destes métodos pode ter aplicação privilegiada, por se tratar de sub-sistemas que integram habitualmente diversos dispositivos de segurança, designadamente, os que asseguram o seu funcionamento, os de detecção de deficiente desempenho, os que restabelecem o funcionamento ou os que estabelecem funcionamentos alternativos.

O método pressupõe que se consigam identificar, para cada subsistema em análise, os acontecimentos iniciadores que podem conduzir a falhas, designadamente a falhas relevantes para o comportamento global do sistema.

A identificação dos acontecimentos iniciadores de maior impacto potencial no sistema permitirá reduzir significativamente o tempo e respectivos custos de aplicação deste método, aspectos que constituem os principais obstáculos à sua utilização.

2.3.4 - FTA

A análise por árvore de falhas é um dos primeiros métodos de apoio à implementação de análises de riscos. Este método foi desenvolvido no início dos anos 60, pela Companhia Americana Bell Telephone, e utilizado no âmbito de estudos de avaliação de riscos de sistemas de lançamento de mísseis.

Actualmente, a análise por árvore de falhas é talvez o método mais utilizado nas mais diversas áreas científicas, designadamente nas indústrias aeronáutica, nuclear e química. À semelhança da análise por árvore de eventos, é também muitas vezes utilizado em análises de riscos após acidente.

Trata-se de um método dedutivo que, a partir de uma determinada falha, procura identificar todas as sequências e combinações de eventos (até aos acontecimentos iniciadores) que podem conduzir à sua ocorrência, podendo ser utilizado em análises qualitativas, semi-quantitativas ou quantitativas.

Na Engenharia de Barragens pode ter, à semelhança dos métodos FMEA, FMECA e ETA, uma aplicação nas diferentes fases e no âmbito dos vários sub-sistemas que compõem a barragem, incluindo os mais complexos.

A análise por árvore de falhas é um método gráfico que recorre a um conjunto de símbolos lógicos normalizados que caracterizam a relação entre os vários eventos.

Uma das principais vantagens deste método é a possibilidade de analisar todas as combinações de eventos que conduzem à falha do sistema em análise, o que o torna particularmente adequado ao tratamento de acidentes de grande escala, designadamente na Engenharia de Barragens, que resultam frequentemente de um conjunto de eventos que individualmente não teriam capacidade para originar o acidente em causa.

Uma das principais desvantagens do método é a morosidade da sua aplicação, existindo actualmente diversos programas de cálculo automático comerciais que permitem facilitar a construção gráfica, a procura dos conjuntos mínimos e a estimativa das probabilidades.

2.3.5 - Nó borboleta

O método do Nó Borboleta é uma conjugação dos métodos de árvore de falhas e de árvore de eventos, como se representa esquematicamente na Figura 1.

Trata-se de um método bastante utilizado nalguns países da Europa, designadamente na Holanda, e por algumas empresas, como a Shell, que aliás está ligada ao desenvolvimento inicial deste método.

O evento central constitui uma falha possível do sistema, traduzindo uma não verificação dos estados limites últimos ou dos estados limites de utilização. A parte à esquerda do evento central é uma árvore de falhas, que analisa as sequências e combinações de eventos que ligam os possíveis acontecimentos iniciadores à falha do sistema, e a parte à direita é uma árvore de eventos, que analisa os resultados possíveis da falha em causa.

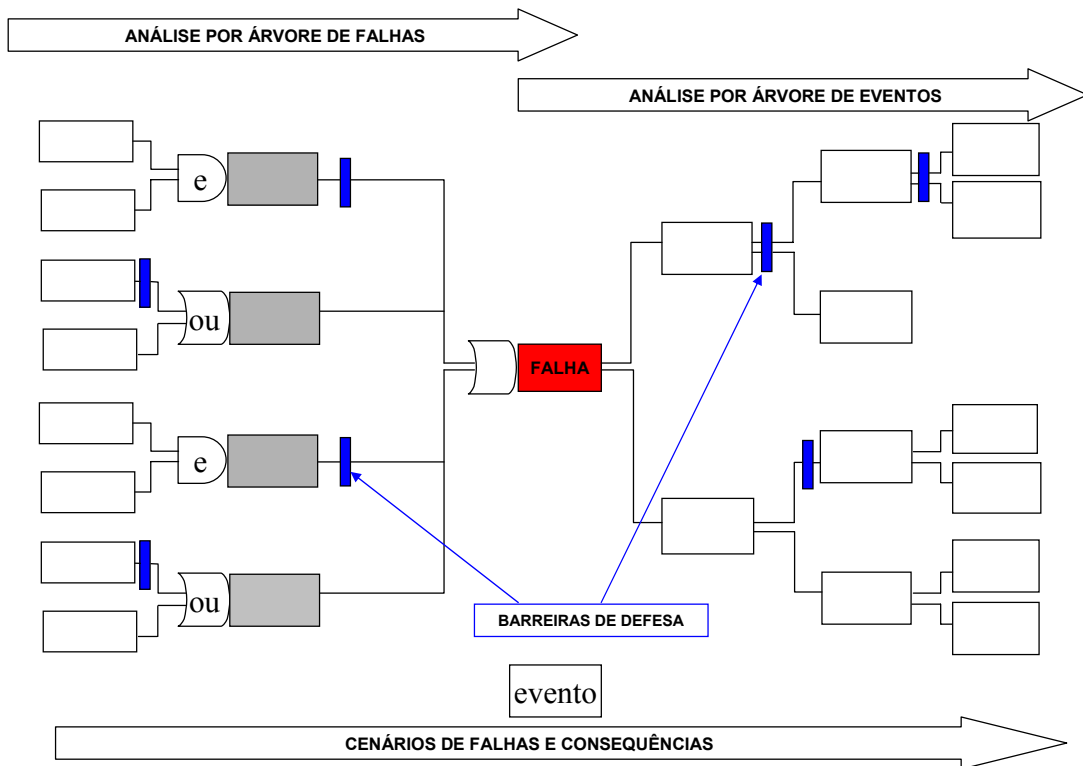


Figura 1– Representação esquemática do método Nó Borboleta (adaptado de INERIS³, 2003)

³ Institut National de L'Environnement Industriel et des Risques

O método tem um domínio de aplicação comum ao dos dois métodos que o constituem - árvore de falhas e árvore de eventos – e reúne as respectivas vantagens e desvantagens.

Tratando-se da combinação de dois métodos de implementação morosa, recomenda-se a sua aplicação essencialmente para falhas particularmente críticas para a segurança e/ou a funcionalidade dos sistemas em análise.

3. ACTIVIDADE A DESENVOLVER NO DECURSO DE 2005

Nos itens precedentes pretendeu-se sintetizar os aspectos mais relevantes da actividade desenvolvida pelo Grupo de Trabalho no decurso de 2004.

Neste item pretende-se perspectivar a actividade a desenvolver no âmbito do Grupo no decurso de 2005, a qual se decorrerá, no essencial, de acordo com as seguintes linhas de orientação:

- prosseguimento da recolha bibliográfica, da introdução da bibliografia existente em suporte informático no arquivo residente na *mailing list* referida em 2.1 e da aquisição de publicações relevantes não disponíveis em suporte informático;
- actualização do glossário referido em 2.2 e apresentado em anexo, com introdução de eventuais correcções às definições ou comentários, introdução de novos termos e supressão dos que se revelarem desajustados ao trabalho em curso;
- aprofundamento dos estudos relatados em 2.3 sobre métodos de apoio à análise de riscos já aplicados no domínio das barragens;
- aquisição e experimentação de *software* relativo a aplicações de métodos de apoio à análise de riscos (p.ex., FMEA ou FMECA – ver 2.3);
- aplicação de uma metodologia de análise de riscos aplicada a dois casos de estudo seleccionados (duas barragens portuguesas, uma de aterro e outra de betão), de modo a permitir a consideração prática de um conjunto diferenciado de aspectos, dos ponto de vista da segurança estrutural e da segurança hidráulica-operacional, bem como do ponto de vista da ocupação do território no vale a jusante;
- envio de um questionário, a investigadores e entidades que possam ter desenvolvido ou estejam a desenvolver estudos e aplicações na área da análise de riscos com vista à avaliação das capacidades nacionais neste domínio, ao estabelecimento de contactos futuros e à partilha de informações e experiências;
- solicitação, às Comissões Nacionais das Grandes Barragens, de informações sobre o estado de desenvolvimento dos estudos e aplicações de metodologias de análise de riscos em barragens e sobre a eventual inclusão deste tipo de metodologias na regulamentação dos respectivos países.

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

Tal como consta do programa de trabalhos submetido à aprovação da Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, o Grupo de Trabalho apresentará, até finais de Janeiro de 2006, o 2º Relatório de Progresso, o qual incluirá um relato sucinto das actividades mais relevantes desenvolvidas no decurso de 2005.

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens,
Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens,
Lisboa, Janeiro de 2005.

António da Silva Gomes
António Betâmio de Almeida
António Tavares de Castro
José Paixão
Laura Caldeira
Lurdes Pimenta
Teresa Viseu

ANEXO I
ARQUIVO DOS DOCUMENTOS EXISTENTES EM
SUPORTE INFORMÁTICO
(Páginas exemplificativas)

Título	Autores	Ano	Tipo de documento	Páginas	Palavras Chave	Ficheiro	Comentários
LA UTILIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE RIESGOS EN LOS PROCESOS DE DECISIÓN RELATIVOS A LA SEGURIDAD DE LAS PRESAS Y A SU GESTIÓN.	Baltar , J.	2001	Artigo	11		015-25.pdf	Lista as comunicações apresentadas na Q.26 do XX Congresso da ICOLD
PORTFOLIO RISK ASSESSMENT OF SA WATER'S LARGE DAMS	Bowles, D.; Parsons, A.; Anderson, L.; Glover, T.		Comunicação	12		ANCOLDF.pdf	
THE PRACTICE OF RISK ANALYSIS AND THE SAFETY OF DAMS	Baecher, G.B., Christian, J.T.		Artigo	29		Cairo Paper.pdf	
PARAMETERS AND APPROXIMATIONS IN GEOTECHNICAL RELIABILITY	Baecher, G.B., Christian, J.T.		Comunicação	15		CRC_MS.pdf	
THE STATUS OF METHODS FOR ESTIMATION OF THE PROBABILITY OF FAILURE OF DAMS FOR USE IN QUANTITATIVE RISK ASSESSMENT	Fell, R.; Bowles, D.; Anderson, L.; Bell, G.	2000	Comunicação	20		Fell.pdf	Q.76 do XX Congresso da ICOLD (Pequim, 2000)
A ROLE FOR RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT	Bowles, D.; Anderson, L.; Glover, T.	1997	Comunicação	9		HYDRO97final.PDF	3rd International Conference HYDROPOWER 97, Trondheim, Norway, June 1997
THE USE OF RISK ANALYSIS TO SUPPORT DAM SAFETY DECISIONS AND MANAGEMENT	Kreuzer H.	2000	Relato Geral Q. 76	15		Paa.pdf	Q.76 do XX Congresso da ICOLD (Pequim, 2000)

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

Título	Autores	Ano	Tipo de documento	Páginas	Palavras Chave	Ficheiro	Comentários
ADVANCES IN THE PRACTICE AND USE OF PORTFOLIO RISK ASSESSMENT	Bowles, D.	2000	Comunicação	12		PRA2000.pdf	ANCOLD 2000 Conference on Dams
DAM BREAK FLOOD RISK AND SAFETY MANAGEMENT AT DOWNSTREAM VALLEYS. A Portuguese Integrated Research Project	Almeida, A.		Comunicação	15		proc8.pdf	
LIFE-LOSS ESTIMATION: WHAT CAN WE LEARN FROM CASE HISTORIES?	McClelland, D.; Bowles, D.	1999	Comunicação	16		Rev5.pdf	Australian Committee on Large Dams (ANCOLD) Annual Meeting, Jindabyne, New South Wales, Australia, November 1999
NONSTRUCTURAL RISK REDUCTION MEASURES. BENEFITS AND COSTS FOR DAMS	Boletim E02, ICOLD, 2001	2001	Boletim ICOLD	52		totallemp.pdf	
UNDERSTANDING AND MANAGING THE RISKS OF AGING DAMS: PRINCIPLES AND CASE STUDIES	Bowles, D.; Anderson, L.; Glover, T.; Chauhan, S.	1999	Comunicação	18		USCOLD99.pdf	Nineteenth USCOLD Annual Meeting and Lecture, Atlanta, Georgia, May 16-21, 1999
PORTFOLIO RISK ASSESSMENT: A TOOL FOR DAM SAFETY RISK MANAGEMENT	Bowles, D.; Anderson, L.; Glover, T.; Chauhan, S.	1998	Comunicação	13		USCOLDdsb.pdf	Proceedings of the 1998 USCOLD Annual Lecture, Buffalo, New York. August 1998
THE PRACTICE OF DAM SAFETY RISK ASSESSMENT AND MANAGEMENT: ITS ROOTS, ITS BRANCHES, AND ITS FRUIT	Bowles, D.; Anderson, L.; Glover, T.	1998	Comunicação	13		USCOLDfruit.pdf	Proceedings of the 1998 USCOLD Annual Lecture, Buffalo, New York. August 1999

Título	Autores	Ano	Tipo de documento	Páginas	Palavras Chave	Ficheiro	Comentários
RISK ASSESSMENT - NEW TRENDS IN GERMANY	Rettemeier, K.; Falkenhagen, B.; Köngeter, J.	2000	Comunicação	15		rettemeier_2000.pdf	Q.76 do XX Congresso da ICOLD (Pequim, 2000)
NEW DEVELOPMENTS IN DAM SAFETY - FEASIBILITY EVALUATION ON RISK ASSESSMENT	Rettemeier, K.; Nilkens, B.; Falkenhagen, B.; Köngeter, J.	2001	Comunicação	6		rettemeier_2001.pdf	
HAZARD AND RISK ASSESSMENT CONSIDERATIONS IN GERMAN STANDARDS FOR DAMS – PRESENT SITUATION AND SUGGESTIONS	SIEBER, H.	2000	Comunicação	18		sieber_icold2.pdf	Q.76 do XX Congresso da ICOLD (Pequim, 2000)
SOFTWARE-SUPPORTED RISK MANAGEMENT FOR THE CONSTRUCTION INDUSTRY	Hall, J.; Cruickshank, I.; Godfrey, P.	2001	Comunicação	7		CE144.pdf	Proceedings of ICE Civil Engineering 144 February 2001
EVALUATION AND USE OF RISK ESTIMATES IN DAM SAFETY DECISIONMAKING	Bowles, D.	2001	Comunicação (invited paper)	17		evaluation.pdf	United Engineering Foundation Conference on Risk- Based Decision-Making in Water Resources IX, “20-Year Retrospective and Prospective of Risk-Based Decision-Making”, Santa Barbara, California. American Society of Civil Engineers. August 2001.
APPLICATIONS OF STATISTICS AND PROBABILITY IN CIVIL ENGINEERING,	Índice de conferência	2003	-	13		Statistics and probability in civil eng.pdf	Índice

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

Título	Autores	Ano	Tipo de documento	Páginas	Palavras Chave	Ficheiro	Comentários
RISK ASSESSMENT IN DAM SAFETY MANAGEMENT. A RECONNAISSANCE OF BENEFITS, METHODS AND CURRENT APPLICATIONS	Boletim ICOLD	2003	Boletim ICOLD	124		Risk V2.5 260903.pdf	
AN OVERVIEW OF QUANTITATIVE RISK MEASURES AND THEIR APPLICATION FOR CALCULATION OF FLOOD RISK	Jonkman, B.; Gelder, P.; Vrijling, H.	2002	Comunicação	8		paper112-Com.219.JONKMAN.pdf	ESREL 2002 European Conference
TO STUDY INTERNATIONAL PRACTICE AND USE OF RISK ASSESSMENT IN DAM MANAGEMENT	MCGRATH, S.	2000	Relatório	60		McGrath Shane 2000.pdf	THE WINSTON CHURCHILL MEMORIAL TRUST OF AUSTRALIA, 2000
RISK, PERFORMANCE AND UNCERTAINTY IN FLOOD AND COASTAL DEFENCE – A REVIEW	DEFRA- Department for Environment, Food and Rural Affairs, Londres	2002	R&D Technical Report FD2302/TR1 (HR Wallingford Report SR587)	31		fd2302_c1.pdf	Cap. 1 - Introduction
				18		fd2302_c2.pdf	Cap. 2 - Risk – Principles and issues
				14		fd2302_c3.pdf	Cap. 3 - Performance – Key principles and issues
				20		fd2302_c4.pdf	Cap. 4 - A framework for risk-based decision-making
				19		fd2302_c5.pdf	Cap. 5 - Risk tools and techniques
				19		fd2302_c6.pdf	Cap. 6 - Uncertainty: Types and sources

ANEXO II
GLOSSÁRIO
(Versão 1)

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Abordagem com base em normas	A abordagem tradicional em engenharia de barragens, na qual os riscos são controlados pelo cumprimento de regras estabelecidas para as situações de projecto, as acções, a resistência estrutural, os coeficientes de segurança e pela adopção de medidas de projecto defensivas.	
Aceitação do risco	Uma decisão informada para aceitar a verosimilhança e as consequências de um risco particular.	Veja a definição de <i>risco aceitável</i> .
Agência reguladora	Geralmente é um ministério, departamento, divisão ou outra unidade do governo nacional ou provincial, designado por lei ou por um acto administrativo, com responsabilidade da supervisão geral da segurança de barragens e de albufeiras, designadamente nas fases de projecto, de construção e de exploração, bem como qualquer entidade à qual tenham sido delegadas por lei todas ou parte das tarefas e funções executivas ou operacionais.	No caso português o controlo de segurança de barragens é da responsabilidade de um entidade do estado, denominada genericamente por “Autoridade”, cujas competências residem actualmente no Instituto da Água (INAG).
Análise da rotura da barragem	Uma análise que possibilita uma estimativa dos efeitos da onda de cheia resultantes da rotura da barragem.	A análise inclui o mecanismo de rotura da barragem, bem como a propagação da onda de cheia (do hidrograma de cheia) através do canal de jusante e das áreas susceptíveis de serem inundadas.
Análise de fiabilidade humana	Método estruturado e sistemático para estimar a probabilidade de erro humano no desempenho de determinadas tarefas e as consequências desses erros.	
Análise de sensibilidade	Análise para determinar o grau de variação de um dado resultado em função da variação unitária de um ou mais dados de entrada.	A sensibilidade pode ser visualizada, por exemplo, pela inclinação da curva ou da superfície de variação do resultado para o(s) valor(es) relevante(s) de entrada.
Análise de riscos	A utilização da informação disponível para estimar o risco	Consistente com a definição comum do dicionário do termo

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
	relativamente a indivíduos ou populações, a bens ou ao ambiente, devido a perigos. A análise de riscos contem geralmente as seguintes fases: definição do âmbito, identificação de perigos e estimativa do risco.	<p>análise, ou seja “o exame detalhado de algo complexo feito para compreender a sua natureza ou para determinar as suas características essenciais”, a análise de riscos envolve a desagregação ou decomposição do sistema da barragem e das fontes do risco nas suas partes fundamentais.</p> <p>A análise de riscos visa, numa primeira etapa, identificar as fontes de perigo e as situações associadas que podem conduzir a danos para pessoas, bens e ambiente e, numa segunda etapa, pôr em destaque as barreiras de segurança existentes, por forma a prevenir a ocorrência de situações perigosas (prevenção) ou limitar as suas consequências (protecção).</p>
Análise dos modos de falha e dos seus efeitos (<i>FMEA</i>)	Um método de análise indutivo no qual são postuladas falhas particulares ou condições iniciadoras e que revela a gama completa dos efeitos no sistema.	A <i>FMEA</i> pode ser adaptada para realizar o que é designado pela análise dos modos de falha, efeitos e severidade (<i>FMECA</i>). Na <i>FMECA</i> , cada modo de falha identificado é hierarquizado de acordo com a influência combinada da respectiva possibilidade de ocorrência e da severidade das suas consequências.
Análise por árvore de eventos (<i>ETA</i>)	A análise por árvore de eventos constitui um processo de análise indutiva, que utiliza a construção gráfica em forma de árvore de eventos, na qual se mostra a sequência lógica da ocorrência de eventos num sistema, ou em estados do mesmo, a partir de um evento iniciador.	Permite ilustrar as consequências intermédias e finais susceptíveis de ocorrer após o surgimento de um acontecimento inicialmente seleccionado. O número de resultados finais possíveis depende das várias opções que são aplicáveis na sequência do evento iniciador.
Análise por árvore de falhas (<i>FTA</i>)	Método da engenharia de sistemas utilizado para representar as combinações lógicas dos vários estados do sistema e das causas que podem contribuir para a ocorrência de um dado evento (denominado “evento de topo”).	<p>Trata-se de um modelo dedutivo que se contrapõe ao modelo indutivo da análise em forma de árvore de eventos.</p> <p>É particularmente adequado para a representação de sistemas mecânicos e eléctricos, tais como comportas de descarregadores.</p>

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Análise qualitativa do risco	Uma análise que usa forma escrita, descritiva ou escalas de ordenação numérica para descrever a grandeza de consequências potenciais e a verosimilhança da ocorrência dessas consequências.	Análise que usa classificações (por exemplo, elevado, grande, médio, etc.) ou escalas numéricas (por exemplo, de 1 a 5) para caracterizar a magnitude das consequências potenciais e a verosimilhança da ocorrência dessas consequências.
Análise quantitativa do risco	Uma análise, baseada em valores numéricos, das consequências potenciais e da verosimilhança, pretendendo-se que tais valores sejam uma representação válida da grandeza real das consequências e da probabilidade dos vários cenários que são examinados.	
Apreciação da fiabilidade humana	Método estruturado e sistemático de estimar a probabilidade de erro humano no desempenho de determinadas tarefas, as consequências de tais erros, a tolerabilidade dos riscos e a necessidade de implementação de medidas de controlo.	
Apreciação do risco	O processo de ponderação e julgamento do significado do risco.	A etapa de apreciação do risco é aquela em que aspectos tão diversos como os objectivos do Dono de Obra, os valores sociais, a legislação, os regulamentos e as orientações normativas e os resultados da análise do risco entram no processo de decisão, explícita ou implicitamente, formulando-se considerações sobre a importância relativa dos riscos calculados e das respectivas consequências sociais, ambientais, económicas e outras, com o objectivo de identificar e analisar o leque de alternativas que se colocam no âmbito da gestão dos riscos.
Apreciação do risco em <i>Portfolio</i>	Forma particular de apreciação ou de análise do risco, na qual é efectuada uma estimativa dos riscos associados a todas ou a várias das obras de um único dono, ou sujeitas à jurisdição de uma só entidade reguladora.	Uma metodologia similar pode ser utilizada para comparar os riscos associados aos vários elementos e aos modos de rotura de um sistema formado por apenas uma barragem. Estes estudos podem ser limitados apenas à fase de análise do risco, mas geralmente envolvem pelo menos uma apreciação preliminar da tolerabilidade dos riscos e a identificação preliminar das medidas

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
		de redução do risco, como base inicial para o planeamento, dependendo a sua finalização de estudos mais detalhados.
Apreciação qualitativa do risco	Uma apreciação baseada numa análise qualitativa do risco.	
Apreciação quantitativa do risco	Uma apreciação baseada em análises quantitativas do risco.	
Avaliação do risco	O processo de tomada de uma decisão/recomendação sobre se os riscos existentes são toleráveis e se as medidas de controlo do risco actuais são adequadas, e se não, sobre se as medidas alternativas de controlo do risco são justificadas ou serão implementadas.	A avaliação do risco incorpora as fases de análise de riscos e de apreciação do risco contemplado. Consistente com a definição comum do dicionário do termo avaliação, ou seja “ <i>analisar criticamente e julgar definitivamente a natureza, o significado, o estado ou mérito do ... [risco]</i> ”, a avaliação do risco é um processo de tomada de decisão, muitas vezes sub-ótimo entre interesses competitivos, da qual resulta uma declaração de que os riscos estão, ou não estão, adequadamente controlados. A avaliação do risco envolve a análise, a apreciação e a decisão acerca da gestão do risco e todas as partes devem reconhecer que as consequências adversas se podem materializar e os donos de obra serão obrigados considerar as consequências de um acontecimento de rotura.
Cenário	Combinação única de circunstâncias, tais como: <ul style="list-style-type: none"> – evento iniciador; – velocidade do vento; – nível de água na albufeira; – posicionamento das comportas; – modo de rotura; 	O cenário define a combinação de circunstâncias com interesse para uma avaliação de riscos. Assim, pode-se falar, por exemplo, em cenários de acções, cenários de rotura e cenários de inundação a jusante. O Regulamento de Segurança de Barragens define cenários como situações que devem ser encaradas para avaliação da segurança

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
	<ul style="list-style-type: none"> – onda de cheia provocada pela rotura e caudais nas linhas de água tributárias; – factores que determinam a presença de pessoas a jusante da barragem no momento da rotura. 	das obras e que se classificam em duas categorias, conforme correspondam às condições de uso normal (cenários correntes) ou sejam associadas a uma ocorrência excepcional (cenários de rotura).
Coefficiente de segurança	Nas Estruturas e em outros ramos da Engenharia, razão entre a resistência da estrutura e o efeito das acções de projecto, em geral calculado de acordo com regras pré-estabelecidas.	
Consequências	No que se refere às análises de riscos, resultados de um risco se concretizar.	Constituem os impactes resultantes da rotura de uma barragem ou dos seus órgãos de segurança e exploração. Incluem o número previsto de pessoas mortas e feridas, a extensão dos prejuízos materiais e os custos de desorganização da actividade económica em consequência do cenário de rotura.
Consequências incrementais da rotura	Diferença entre as perdas ou danos provocados pela rotura da barragem nas áreas a montante e a jusante, bem como na própria barragem, e as perdas ou danos que teriam ocorrido para os mesmos eventos ou condições naturais sem a ocorrência de colapso da barragem	
Controlo do risco	A implementação e a imposição de medidas para manter ou reduzir o risco e a reavaliação periódica da sua eficácia.	
Curva de fragilidade	Função que define a probabilidade de rotura em relação à carga aplicada.	Constitui uma forma particular do sistema mais geral que é o “sistema de resposta” da estrutura.
Curvas $F-N$	Curvas que relacionam F (a probabilidade anual de causar N ou mais mortes) com N . Esta é a função de distribuição complementar cumulativa.	Tais curvas podem ser usadas para expressar critérios para o risco societal e para descrever os níveis de segurança de determinadas unidades industriais.

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Custo <i>CSLS</i>	Custo por cada vida estatisticamente salva	Custo associado a um incremento da redução do risco para a segurança das vidas. Não se trata pois de atribuir um custo à vida humana, nem de uma compensação por uma perda de vida accidental, paga por um seguro ou por um processo legal.
Dano potencial	Consequências associadas a um acontecimento adverso, independentemente da probabilidade da sua ocorrência	
Decisor	A pessoa ou entidade que decide, com base num conjunto de considerações, sobre o rumo da acção em relação à segurança de uma barragem, o qual pode incluir uma avaliação do risco.	
Dono de Obra	Entidade legal – indivíduo, empresa, organização, departamento do Estado, Empresa pública, Corporação ou outra – detentora de uma licença governamental para a exploração da barragem ou do título de propriedade legal do local da barragem e/ou albufeira e que é responsável pela sua segurança.	
Efeitos	No contexto da análise dos modos de rotura (<i>FMEA</i> e <i>FMECA</i>), este termo refere-se às consequências para o funcionamento de um sistema, nomeadamente uma barragem, de uma falha em alguns dos seus componentes.	Se o sistema em análise é uma barragem, estes efeitos não devem ser confundidos com os efeitos remotos (no vale a jusante), os quais podem também resultar da mesma rotura, tais como perdas de vida e danos materiais associados à propagação da onda de inundação, resultante da referida rotura na barragem.
Eficiência	No contexto do uso dos recursos da Sociedade, é a base de um critério que procura a obtenção do maior benefício a partir dos recursos disponíveis.	
Equidade	O princípio que defende que os interesses de todos deverão ser tratados com justiça e imparcialidade.	

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Estado	Um valor especificado ou um intervalo de variação de uma variável utilizados para descrever uma situação de interesse em estudos de avaliação do risco.	Como exemplos pode-se referir o estado da velocidade do vento, o estado do caudal máximo de cheia ou o estado de operação da comporta de um descarregador.
Evento extremo	Evento que tem uma probabilidade de excedência anual (<i>AEP</i>) muito pequena.	Por vezes é definido como um evento para além do <u>limite de extrapolação credível</u> sendo, portanto, dependente da extensão da série de registos e da qualidade dos dados disponíveis.
Factor de segurança	Ver <i>coeficiente de segurança</i> .	
Factores humanos	Referem-se a factores ambientais, organizacionais ou laborais e a características humanas e individuais que influenciam o comportamento no trabalho de uma forma que pode afectar a segurança.	
Fiabilidade	Verosimilhança de um desempenho adequado de um dado elemento da obra.	Pode ser medida numa base anualizada ou referida a um período de tempo especificado ou, por exemplo no caso de comportas de descarregadores, numa base casuística. Matematicamente, $fiabilidade = 1 - \text{probabilidade de rotura}$
Frequência	Medida de verosimilhança expressa como o número de ocorrências de um dado evento num dado período de tempo ou num determinado número de tentativas.	Ver também <i>probabilidade e verosimilhança</i> .
Função de distribuição (<i>CDF</i>)	O integral da função densidade de distribuição calculado entre $-\infty$ e o valor da variável aleatória para o qual se pretende avaliar a função.	Assim, a probabilidade da variável aleatória ser menor ou igual a um dado <i>valor</i> é igual à função de distribuição para esse <i>valor</i> .
Função de	O integral da função densidade de distribuição calculado entre o valor	Assim, a probabilidade da variável aleatória ser maior ou igual a

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
distribuição complementar (CCDF)	da variável aleatória para o qual se pretende avaliar a função e $+\infty$.	um dado <i>valor</i> é igual à função de distribuição complementar para esse <i>valor</i> . O diagrama <i>F-N</i> é um exemplo de uma <i>CCDF</i> , embora a probabilidade de $N=0$ seja omitida.
Função densidade de probabilidade	Uma função que descreve a verosimilhança relativa de uma variável aleatória assumir um dado valor em contraste com a assumpção de outros valores.	
Gestão do risco	Aplicação sistemática de políticas, procedimentos e práticas de gestão às tarefas de identificação, análise, apreciação, avaliação, mitigação e controlo do risco.	
Identificação do risco	Processo de identificação do que pode falhar (correr mal), porquê e como.	
Incerteza	Previamente usada como referência a situações em que a verosimilhança dos potenciais resultados não podia ser descrita por funções densidade de probabilidade objectivamente conhecidas. Presentemente é usada para descrever qualquer grandeza ou situação sem certeza, seja ou não descrita por uma distribuição de probabilidades.	No contexto da segurança de barragens, a incerteza pode ser atribuída a (i) variabilidade inerente às propriedades e aos eventos naturais e (ii) ao incompleto conhecimento dos parâmetros e das relações entre os valores de entrada e de saída.
Indivíduo hipotético	Indivíduo idealizado e representativo com características especificadas, vivendo em dadas circunstâncias, normalmente definidas como uma base para estimar o risco individual.	
Juízo de valor	Um julgamento cujo resultado depende dos valores éticos ou morais da pessoa ou da sociedade.	

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Limite	No que se refere ao nível de risco é o nível que, quando excedido, é inaceitável.	Não são justificados valores de riscos mais elevados à exceção da ocorrência de circunstâncias extraordinárias (tipicamente quando a continuação do risco foi autorizada pelo governo ou uma entidade reguladora na perspectiva de interesses mais abrangentes para a sociedade).
Limite de tolerabilidade	Valores acima dos quais o risco associado a um acontecimento adverso é considerado inaceitável, sejam quais foram os benefícios associados à infraestrutura, actividade ou prática potencialmente geradora desse acontecimento, a menos que subsistam razões excepcionais para que as referidas infraestrutura, actividade ou prática devam ser mantidas.	
Mecanismo de rotura	Um mecanismo descrito pelos processos e estados físicos que devem ocorrer de acordo com as leis da natureza que regem a progressão do modo de rotura, desde a causa iniciadora até à realização do efeito último da rotura em análise.	
Mitigação do risco	A aplicação selectiva de técnicas e de princípios de gestão apropriados para reduzir a verosimilhança de uma ocorrência ou das suas consequências adversas ou ambas.	
Modo de rotura	O modo como a rotura pode ocorrer, descrito pelos processos como as falhas dos elementos ou componentes devem ocorrer para provocar a perda de funcionalidade dos sistemas ou subsistemas em análise.	
Negligência	Conceito existente em certos sistemas legais associado à atribuição de responsabilidades, correspondente à quebra do dever de zelo.	
Par f , N	Diz respeito a f , a probabilidade de perda de vidas humanas devido a cada cenário em estudo de rotura da barragem, e N o número de	O termo N pode ser substituído por qualquer outra medida quantitativa das consequências da rotura, tal como medidas

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
	vítimas mortais expectáveis para esse cenário de rotura.	monetárias. O conjunto formado pelo cenário, pela probabilidade e pela consequência constitui o resultado fundamental de uma análise de risco.
Perda	Qualquer consequência negativa, de carácter financeiro ou outro.	
Perdas directas	Perdas que resultam da acção directa das cheias.	Ver também <i>perdas indirectas</i> .
Perdas indirectas	Diferença entre as perdas totais e as perdas directas.	
Perigo	Ameaça. Condição, que pode resultar tanto de uma causa externa (e.g. sismo, cheia ou causa humana) como ser devida a uma qualquer vulnerabilidade interna com o potencial para iniciar o modo de rotura. Uma fonte de danos potenciais ou uma situação com o potencial para provocar perdas.	Pode ser uma substância (por exemplo a presença de solos moles ou de arsénico em solos contaminados), uma geometria (por exemplo, um talude ou uma cavidade) ou uma pessoa (por exemplo, um engenheiro incompetente). Inclui fenómenos naturais (sismos, ciclones), mau funcionamento de uma fonte de energia (reactor nuclear, explosão industrial) ou a actividade humana não controlada (excesso de circulação, conflitos armados).
Plano de emergência	Documento que contém os procedimentos para enfrentar diversas situações de emergência, os esquemas de comunicação e os mapas de inundação com a indicação de níveis de água, a montante e a jusante, e os tempos de chegada de cheias que podem resultar da rotura da barragem ou dos seus órgãos de segurança e exploração.	
População em risco (<i>PAR</i>)	Todos os indivíduos que, caso não sejam evacuados, serão atingidos pela onda de inundação provocada por uma rotura na barragem.	
Princípio <i>ALARP (As Low</i>	Princípio metodológico que estabelece que os riscos, inferiores ao limite de tolerabilidade, só são toleráveis se a sua redução for	

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
<i>As Reasonably Practicable</i>	impraticável ou se os custos associados a essa redução forem fortemente desproporcionados (dependendo do nível do risco) relativamente aos benefícios daí decorrentes.	
Probabilidade	Uma medida do grau de confiança numa previsão, ditada pelas evidências, tendo em conta a natureza de uma grandeza incerta ou a ocorrência de um evento futuro incerto.	<p>É uma estimativa da verosimilhança da grandeza de uma quantidade incerta ou da verosimilhança de um evento futuro de ocorrência incerta. Toma valores entre 0 (impossibilidade) e 1 (certeza).</p> <p><i>Existem duas interpretações principais:</i></p> <p>Estatística – Frequência ou fracção</p> <p><i>Esta interpretação está relacionada com a realização de experiências repetitivas, tal como o lançamento de moedas. Inclui também a noção de <u>variabilidade da população</u>. O resultado obtido é chamado de “probabilidade objectiva”, uma vez que existe no mundo real e é mensurável através da realização da experiência.</i></p> <p>Probabilidade subjectiva – Medida da crença, julgamento ou confiança na verosimilhança de um resultado, considerando toda a informação disponível, de uma forma honesta, justa e com um mínimo de desvio.</p> <p><i>A probabilidade subjectiva é afectada pelo estado do conhecimento de um processo, pelo julgamento relativamente à sua avaliação ou pela quantidade e qualidade da informação. Pode variar ao longo do tempo em função da evolução do estado do conhecimento.</i></p> <p>De um ponto de vista matemático, a probabilidade é uma função $P(A)$, definida num subconjunto de um espaço da amostra, S, que satisfaz os seguintes axiomas:</p>

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1) $0 \leq P(A) \leq 1, \forall A \subseteq S$ 2) $P(S) = 1,0$ 3) $P(\cup A_j) = \sum P(A_j)$, sendo A_j eventos disjuntos
Probabilidade anual	A probabilidade de ocorrência de um evento num ano.	
Probabilidade condicional	A probabilidade de um resultado face à ocorrência de um evento.	Por exemplo, a probabilidade de colapso de uma barragem de aterro se uma cheia atingir o seu coroamento é uma probabilidade condicional.
Probabilidade conjunta	Probabilidade de duas ou mais variáveis assumirem certos valores simultaneamente ou em determinados intervalos de tempo.	
Probabilidade de excedência anual (AEP)	A probabilidade estimada de um acontecimento, de uma dada magnitude, ser igualado ou excedido em qualquer ano.	
Problema do zero-infinito	O problema na análise do risco para o qual o valor esperado não é uma medida apropriada da aversão social aos acontecimentos com baixa probabilidade – elevadas consequências (catástrofes raras).	Ver a definição de <i>valor expectável</i> .
Processo de decisão	O processo global, estruturado ou não, necessário para chegar a uma decisão.	O processo pode envolver a interação entre o decisor e a equipa responsável pela avaliação do risco, de modo a que ambos compreendam devidamente o contexto da decisão e tenham em conta os valores e as preferências do decisor na apresentação dos resultados da apreciação do risco.
Processo determinístico	Utiliza-se na descrição de um processo com um mesmo resultado para um determinado conjunto de dados de entrada. Assim, o resultado é	O processo determinístico contrasta com o processo aleatório, o qual descreve um processo com um resultado que pode variar

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
	“determinado” pelos dados de entrada.	mesmo quando os dados de entrada são iguais. O processo aleatório está associado a análises <i>probabilísticas</i> .
Processo probabilístico	Descrição dos procedimentos baseados na aplicação das leis da probabilidade. A análise de probabilidades considera explicitamente o carácter aleatório dos fenómenos naturais, bem como de outros acontecimentos e propriedades.	Contrasta com <i>processos determinísticos</i> .
Recomendações de apoio à decisão	O conselho dado, pela equipa de apreciação do risco, a um decisor acerca da preferência de um conjunto de rumos de acção alternativos, com base em factores que caem na área da responsabilidade e da competência da equipa.	
Regra de decisão	Um princípio pelo qual um decisor julgará um certo número de opções, de modo a seleccionar a preferida.	Um exemplo é o princípio <i>ALARP</i> .
Resposta do sistema	Forma de resposta de uma barragem, expressa como uma probabilidade condicional de rotura, relativamente a um dado cenário de cargas aplicadas e condições concomitantes.	Ver também <i>curva de fragilidade</i> .
Risco	Medida da probabilidade e da severidade de um efeito adverso relativamente à vida, saúde, bens e ambiente.	No caso geral, o risco é estimado pelo impacte combinado de todos os conjuntos de três elementos, constituídos pelo cenário, pela probabilidade de ocorrência e pela consequência associada. No caso especial, o risco médio é estimado pela esperança matemática das consequências de um evento adverso ocorrer (isto é, o produto da probabilidade de ocorrência e da consequência, combinado para todos os cenários).
Risco aceitável	Risco que pode ser aceite pelos indivíduos ou pela sociedade eventualmente afectados, admitindo que não há alterações nos	Este risco é considerado insignificante e adequadamente controlado. Em geral, não são requeridas medidas para a sua redução, excepto quando praticáveis a baixo custo, em termos

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
	mecanismos de controlo do risco	<p>financeiros, de tempo e de esforço.</p> <p>A diferença entre risco aceitável e risco tolerável reside no facto de o primeiro ser considerado, pela população eventualmente afectada, suficientemente baixo e adequadamente controlado para não ser necessário reduzi-lo, e o segundo, apesar de inferior ao limite de tolerabilidade, ser considerado ainda susceptível de redução, a todo o tempo, desde que tal redução seja possível. O princípio <i>ALARP</i> reduz o âmbito da obrigatoriedade da redução do risco, limitando-a inferiormente. De facto, mesmo que a redução seja possível, ela só deverá ser concretizada se os custos inerentes não forem desproporcionados face aos benefícios daí decorrentes.</p>
Risco individual	O incremento de risco imposto a um indivíduo pela existência de uma unidade industrial perigosa.	O incremento de risco constitui um adicional ao risco de vida, com o qual o indivíduo viveria numa base diária se a unidade não existisse, ou no contexto da segurança de barragens, se a barragem não rompesse.
Risco intolerável	Risco que é maior que o risco tolerável.	
Risco involuntário	Risco imposto a indivíduos por uma entidade de controlo e não assumido como uma livre escolha pela população em risco.	
Risco residual	O nível de risco remanescente em qualquer instante antes, durante e após ter sido implementado um programa de medidas de mitigação do risco.	
Risco societal	Risco que, quando materializado, assume consequências de grande escala e/ou abrangência que implicam uma resposta do meio social e político, através de discussão pública e de mecanismos de regulação.	Riscos desta dimensão e natureza estão, em geral, distribuídos de forma desigual, assim como os respectivos benefícios esperados. A título de exemplo, a construção de uma barragem representa

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
		um risco para as populações que habitam no vale a jusante e uma mais valia para as populações beneficiárias da água que podem localizar-se muito longe da obra, designadamente noutras bacias hidrográficas.
Risco tolerável	Risco dentro de uma gama com a qual a sociedade pode aceitar de forma a assegurar determinados benefícios.	É uma gama de riscos que não devem ser vistos como negligenciáveis ou ignoráveis, mas que, pelo contrário, devem ser mantidos sob revisão e reduzidos, se e como for possível. <i>Ver risco aceitável.</i>
Risco voluntário	Um risco que um indivíduo assume voluntariamente, de modo a obter algum benefício.	Como exemplo refere-se a prática de desportos radicais.
Riscos ambientais	Riscos associados aos ecossistemas naturais ou à beleza e amenidade da natureza.	
Riscos comensuráveis	Riscos que são mensuráveis por padrões idênticos.	Nas análises dos riscos referem-se habitualmente a consequências avaliadas em termos monetários.
Riscos tangíveis	Riscos que, se ocorrerem, terão consequências detectáveis e, em geral, mensuráveis.	A destruição de casas é uma consequência tangível, enquanto que o sofrimento e o trauma são consequências intangíveis.
Rotura de barragem	No caso geral, a perda de capacidade de uma barragem, ou de parte dela, de funcionar como previsto.	Assim, no que concerne à capacidade de cumprir as suas finalidades, inclui a incapacidade da barragem para garantir o abastecimento de água, a percolação excessiva ou a contenção de substâncias perigosas. No contexto da segurança da barragem, rotura é, em geral, confinada a aspectos de integridade estrutural, e, em alguns contextos, inclui o caso especial da libertação do conteúdo de uma albufeira através do colapso total ou parcial da barragem.

Grupo de Trabalho de Análise de Riscos em Barragens

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Sacrifício	No que se refere ao princípio <i>ALARP</i> , o que o Dono de Obra e a Sociedade devem despende em dinheiro, tempo, perturbações e esforços para obter uma redução do risco.	
Simulação de Monte Carlo	Simulação numérica de um processo estocástico através da escolha aleatória de valores em proporção com a sua função de densidade de probabilidades conjunta.	
Sistema	Um sistema é uma entidade definida constituída por elementos discretos identificáveis e inter-actantes. É um arranjo ordenado destes elementos (por exemplo, área limitada espacialmente, estruturas, componentes de equipamentos mecânicos e eléctricos e operadores) concebido para evidenciar as interacções entre os vários elementos no desempenho da função do sistema.	Por simplicidade, o termo geral sistema será usado sem distinção entre os vários níveis dos sistemas.
Sistema de aviso de cheias	Sistema que define o nível de inundação a partir do qual se dá início ao processo de aviso assim como os meios físicos para o seu funcionamento e os indivíduos para os quais é dirigido.	Este sistema inclui todo o <i>hardware</i> necessário, como por exemplo, dispositivos activados através dos níveis de água.
Solução óptima	Solução que, com base no equilíbrio dos objectivos concorrentes é considerada a melhor ou a mais favorável, quando baseada numa regra de decisão particular.	
Taxa de desconto	A taxa de crescimento composta que converte uma quantidade monetária actual numa quantidade monetária futura (ou vice-versa), a qual é equivalente em termos de preferências da sociedade.	No contexto da apreciação do risco, o principal uso da taxa de desconto é na comparação dos benefícios económicos das opções de redução do risco.
Tempo de aviso (<i>WT</i>)	Intervalo de tempo entre o instante do primeiro aviso à população em risco (<i>PAR</i>) e o instante de chegada da onda de cheia à <i>PAR</i> , utilizado em métodos para a estimativa de perdas de vidas humanas devido a rotura de barragens.	

TERMO	DEFINIÇÃO	COMENTÁRIOS
Teoria da fiabilidade	Uma teoria que permite a avaliação da probabilidade de rotura em termos das incertezas na capacidade (ou resistência) e na exigência (ou carga).	
Teoria da utilidade com multi-atributos	Teoria que define regras para a escolha de soluções óptimas com atributos que competem entre si, sendo desejável a maximização de todos.	
Tomada de decisão baseada em critérios de risco	Tomada de decisão que tem como dados principais os resultados da avaliação do risco.	Inclui a ponderação entre os benefícios sociais e outros e os riscos residuais.
Valor expectável	A média ou a tendência central de uma variável aleatória.	Relativamente à análise do risco, é o produto da probabilidade de um evento e das respectivas consequências, agregado de acordo com todos os valores possíveis da variável.
Variável aleatória	Uma quantidade cuja grandeza não é fixa, podendo assumir qualquer de um conjunto de valores descritos por uma distribuição de probabilidades.	
Verosimilhança	Utilizada como uma descrição qualitativa da probabilidade e frequência.	
Zona afectada pela rotura da barragem	A zona de inundação onde as variações das alturas e das velocidades da onda de cheia devida à rotura da barragem são tais que potenciam um incremento de perda de vidas ou um incremento significativo de danos em bens ou no ambiente relativamente à situação mais desfavorável sem ocorrência de rotura.	

ANEXO III
MÉTODOS DE ANÁLISE DE RISCOS
(Exemplos)

1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS

A *análise de riscos* constitui a primeira da fase da *avaliação do risco*, processo que se desenvolve com a *apreciação do risco*, e que, em conjunto com o *controlo do risco*, constituem as etapas fundamentais da *gestão de riscos* (Figura III.1).

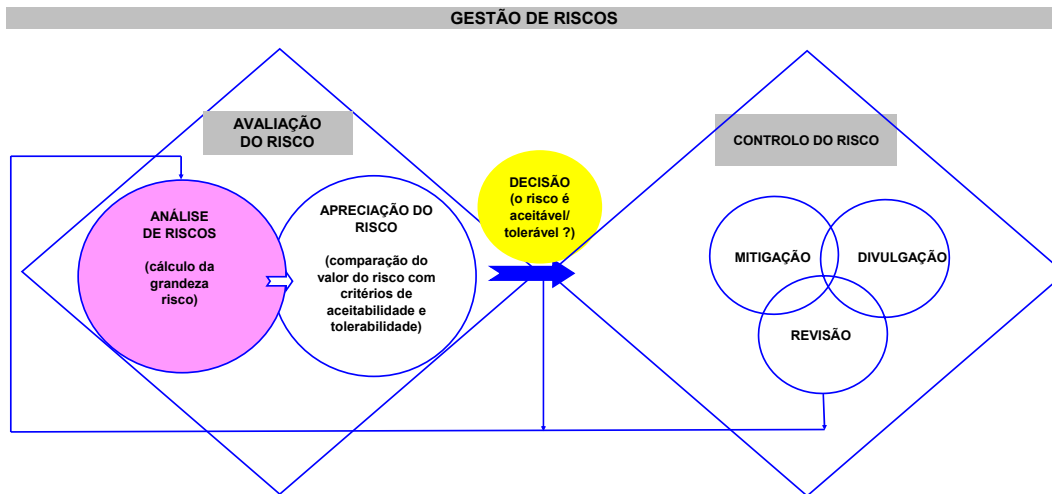


Figura III. 1– Gestão de riscos. Etapas fundamentais

Em sub-sistemas elementares, o cálculo do risco é em geral relativamente simples, fazendo-se pelo produto entre a probabilidade de ocorrência da rotura e as consequências associadas. Em sistemas complexos, como é o caso das barragens, há que identificar as sucessões plausíveis de *acontecimentos iniciadores*, *modos de rotura*, *respostas* e *resultados* nos sub-sistemas e no sistema, assim como as *consequências* que lhes estão associadas, tendo em conta os vários *factores de exposição* intervenientes e as respectivas *probabilidades* (Figura III. 2).

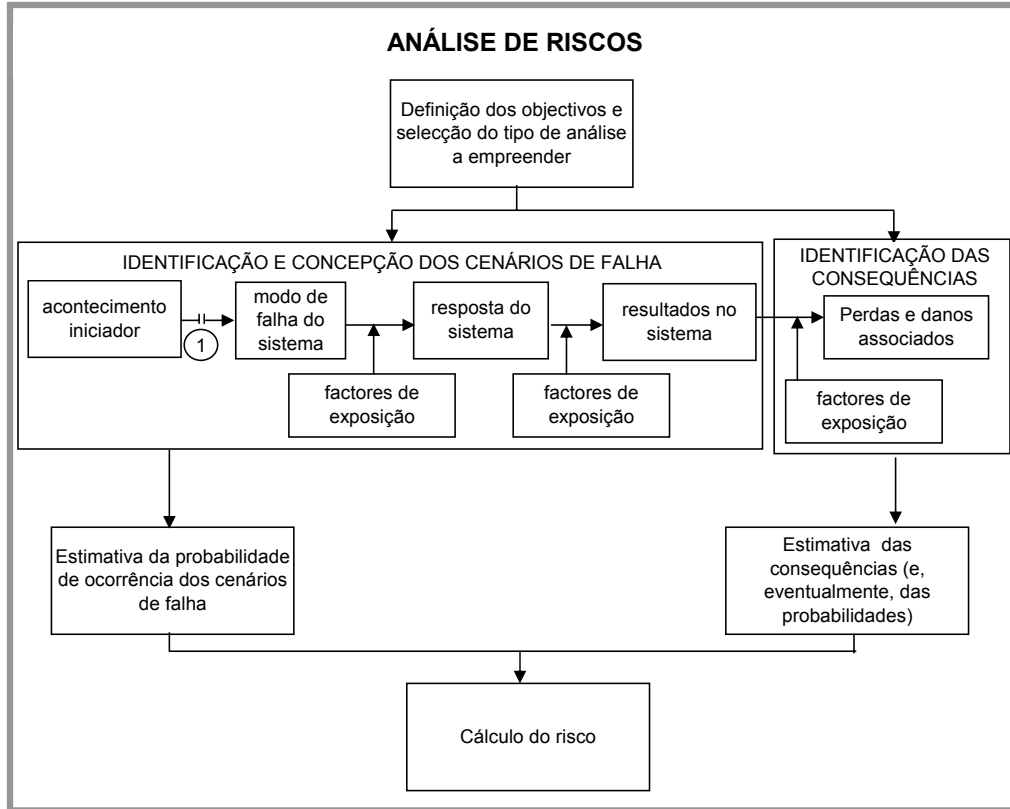
Nos itens seguintes descrevem-se resumidamente os principais métodos de análise de riscos com aplicações em barragens.

2 – BREVE DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

2.1 - HAZOP

Os procedimentos de aplicação deste método são os seguintes:

- 1) Selecção do sub-sistema que se pretende analisar (ex: corpo da ensecadeira);
- 2) Escolha de uma grandeza com repercussão no comportamento do sub-sistema em análise (ex: assentamento);
- 3) Escolha de uma das palavras-chave da classificação adoptada para caracterizar o desvio (ex: muito superior ao valor estimado para o assentamento);



① Sequência, nos vários sub-sistemas, de modos de falha, respostas e resultados, que associem, tendo em conta os respectivos factores de exposição, o acontecimento iniciador ao modo de falha último do sistema.

Figura III. 2 – Análise de riscos. Fluxograma das principais actividades

- 4) Identificação das causas potenciais desse desvio (ex: colapso dos materiais de aterro por saturação do maciço estabilizador de montante da ensecadeira);
- 5) Identificação das consequências potenciais desse desvio (ex: abertura de fendas, estabelecimento de caminhos de percolação montante-jusante; erosão interna; formação de brecha; geração de uma onda de cheia para jusante);
- 6) Identificação dos meios de detecção do desvio (ex: marcas de nivelamento no coroamento e no paramento de montante da ensecadeira para leitura dos assentamentos e inspecção visual), dos meios de prevenção (ex: caracterização dos materiais de aterro com vista à antecipação da possibilidade de colapso; colocação e compactação dos materiais do maciço estabilizador de montante do lado húmido) e dos meios de minimização das consequências (ex: implementação de um Plano de Emergência).
- 7) Proposta de eventuais meios adicionais.
- 8) Repetição da análise para diferentes palavras-chave (passos 3 a 7).
- 9) Repetição dos passos 2 a 8 para todas as grandezas relevantes para o comportamento do sub-sistema em análise.

Estes procedimentos podem ser sistematizados em forma de quadro, como se ilustra no Quadro III. 1.

Quadro III. 1– Exemplo ilustrativo de aplicação do método HAZOP

Sistema principal Barragem (3)
 Sub-sistema Ensecadeira (2)
 Fase Construção (1)

Data: _____
 Folha: _____
 Autor: _____
 Aprovação: _____

Código de identificação	Designação	Grandeza	Desvio (palavra chave)	Causa	Efeitos	Meios			Meios adicionais
						de detecção do desvio	de prevenção do desvio	de mitigação dos efeitos	
3-2-1 (a-b-c) ⁽¹⁾	Ensecadeira	Assentamento	MUITO SUPERIOR (ao valor estimado)	Colapso dos materiais do maciço estabilizador de montante	. Abertura de fendas . Estabelecimento de caminhos de percolação montante/jusante . Erosão interna . Formação de brecha . Libertação de uma onda de cheia para jusante	Marcas de nivelamento para medição dos assentamentos Inspeção visual	Ensaios de caracterização Colocação e compactação dos materiais do maciço estabilizador de montante do lado húmido	Subida expedita do coroamento da ensecadeira Accionamento do Plano de Emergência	Mais do que um meio de comunicação entre a obra e o exterior Sistema de aviso e alerta

(1)-

a - Sistemas principais

- 1 - bacia hidrográfica
- 2 - albufeira
- 3 - barragem
- 4 - vale a jusante

b - Sub-sistemas da barragem

- 1 - galeria de desvio provisório
- 2 - ensecadeira
- 3 - corpo da barragem
- 4 - descarregador de cheias
- 5 - descarga de fundo
- 6 - tomada de água

c - Fase

- 1 - construção
- 2 - 1º enchimento
- 3 - exploração (primeiros 5 anos)
- 4 - exploração (após os primeiros 5 anos)

O método pode também fazer uso de escalas de probabilidade de ocorrência dos desvios e de gravidade das consequências para apoio à realização de análises semi-quantitativas.

2.2 – FMEA e FMECA

Os procedimentos de aplicação deste método são os seguintes:

- 1) Selecção do sub-sistema a analisar;
- 2) Caracterização do seu funcionamento e selecção de um estado de funcionamento;
- 3) Identificação de um modo de rotura a analisar;
- 4) Identificação da respectiva causa;
- 5) Identificação dos efeitos da rotura (efeitos locais, no sub-sistema em análise, efeitos noutros sub-sistemas e efeitos terminais);
- 6) Identificação dos meios de detecção e de prevenção do modo de rotura e dos meios de mitigação dos seus efeitos;
- 7) Proposta de meios adicionais;
- 8) Repetição da análise (passos 3 a 7) para o leque de modos de rotura plausíveis;
- 9) Identificação de um outro estado de funcionamento e repetição da análise para o respectivo conjunto de modos de rotura.

No Quadro III. 2 apresenta-se um exemplo ilustrativo de aplicação do método.

No caso de uma análise dos modos de falha, efeitos e severidade (FMECA) haveria adicionalmente que caracterizar, através de escalas adequadas, o par: *probabilidade* de ocorrência do modo de falha, *gravidade* dos seus efeitos.

2.3 – ETA

Os procedimentos de aplicação do método são os seguintes:

- 1) Identificação do acontecimento iniciador a analisar;
- 2) Construção da árvore de eventos a partir do pressuposto de que cada ramo da árvore dá origem a dois ramos, que representam um a situação de sucesso e outro a situação de falha; cada sequência de eventos culmina numa situação que pode ou não corresponder a uma falha;
- 3) Cálculo da probabilidade de ocorrência de cada sequência de eventos, ou seja, de todas as situações de falha, através da estimativa de probabilidades de sucesso e falha de cada evento, no caso de análises semi-quantitativas ou quantitativas.

No Quadro III. 3 apresenta-se um exemplo ilustrativo de aplicação do método.

Quadro III. 2– Exemplo ilustrativo de aplicação do método FMEA

Código de identificação	Designação	Funcionamento	Modo de falha	Causa (acontecimento iniciador)	Efeitos da falha			Meios			Meios adicionais
					Locais	Noutros sub-sistemas	Terminais	de detecção do modo de falha	de prevenção do modo de falha	de mitigação dos efeitos	
3-1-1 (a-b-c) ⁽¹⁾	Galeria de desvio provisório	Desvio do rio durante a fase de construção. Operação em cheia.	Excedida a capacidade de escoamento da galeria em superfície livre (galeria projectada para funcionar em superfície livre, sem entrar em pressão)	Cheia superior à cheia de projecto	Escoamento em pressão no interior da galeria	Subida do nível da água na albufeira acima dos valores previstos	. Perda de folga . Galgamento da ensecadeira . Onda de cheia no vale a jusante	Medição de caudais na bacia hidrográfica Medição do nível da água na albufeira	Consideração de uma folga adequada a operações excepcionais. Subida faseada dos aterros da ensecadeira (acima da cota do coroamento)	Subida expedita do coroamento da ensecadeira Accionamento do Plano de Emergência	Considerar a possibilidade de executar um descarregador de emergência sobre o corpo da ensecadeira Sistema de Aviso e Alerta

a - Sistemas principais

(1) -

- 1 - bacia hidrográfica
- 2 - albufeira
- 3 - barragem
- 4 - vale a jusante

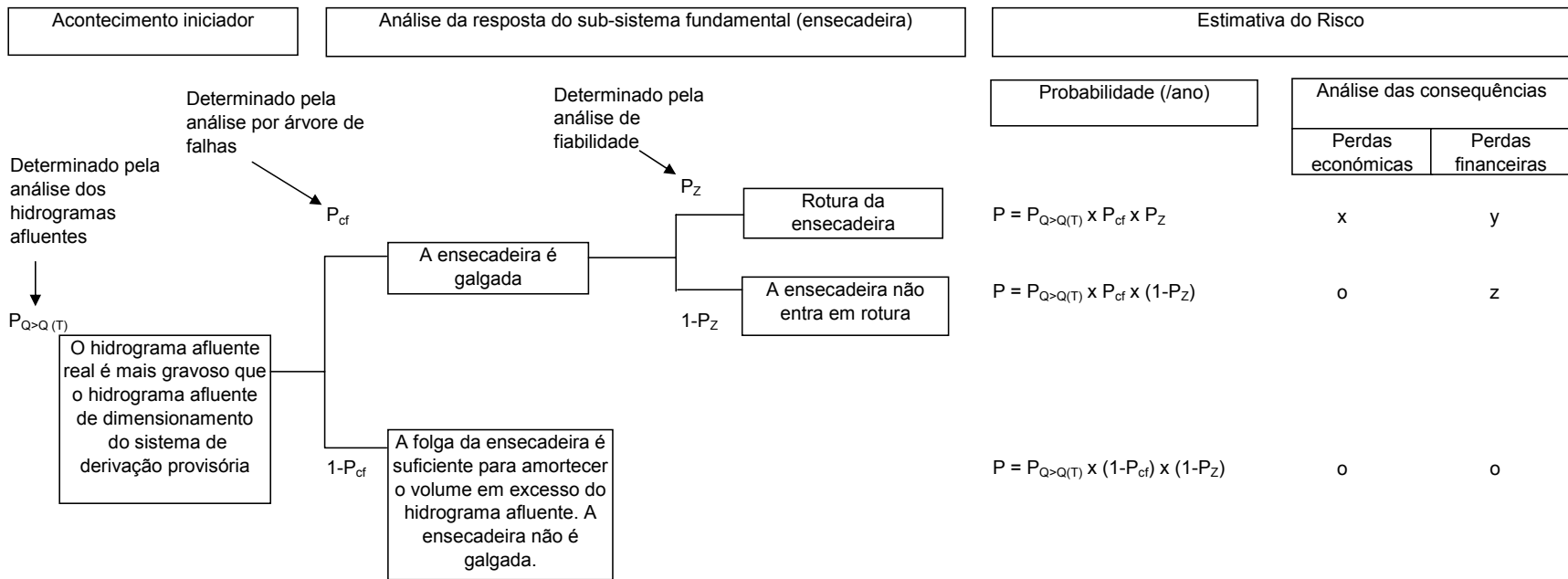
b - Sub-sistemas da barragem

- 1 - galeria de desvio provisório
- 2 - ensecadeira
- 3 - corpo da barragem
- 4 - descarregador de cheias
- 5 - descarga de fundo
- 6 - tomada de água

c - Fase

- 1 - construção
- 2 - 1º enchimento
- 3 - exploração (primeiros 5 anos)
- 4 - exploração (após os primeiros 5 anos)

Quadro III. 3– Exemplo ilustrativo de aplicação de uma árvore de eventos



2.4 – FTA

Os procedimentos gerais de aplicação do método FTA são os seguintes:

- 1) Identificação da falha que se pretende analisar.
- 2) Construção da árvore de falhas;
- 3) Interpretação da árvore de falhas.

No Quadro III. 4 ilustram-se os principais símbolos habitualmente utilizados na construção da árvore de falhas.

A construção e a interpretação de uma árvore de falhas, em conceito aparentemente simples, pode transformar-se num exercício bastante complicado, função da complexidade do sistema em análise. Um conjunto de regras e técnicas de análise, assim como de programas de cálculo automático para apoio à sua implementação, podem ser encontrados na bibliografia da especialidade.

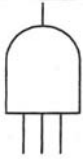


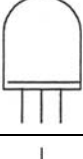

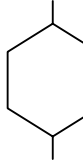

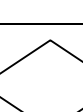
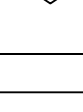

Subsequentemente indicam-se, a título de exemplo, algumas regras e técnicas de apoio à implementação dos procedimentos gerais de aplicação do método de análise por árvore de falhas.

- 1) Utilização preliminar de métodos indutivos (HAZOP, FMEA) para identificação das falhas críticas do sistema.
- 2) Procura das causas directas, necessárias e suficientes, para originarem o evento considerado, o que implica um conhecimento profundo do sistema e a observação de determinadas regras. De entre estas regras, referem-se as seguintes: i) coerência do sistema, ii) identificação clara de todos os eventos de entrada para cada porta lógica, iii) não ligação directa de duas portas lógicas, iv) garantia de que cada ramo da árvore termina num acontecimento iniciador. Os acontecimentos iniciadores devem ser independentes, não podendo ser decompostos em elementos mais simples. No caso de análises semi-quantitativas ou quantitativas, a probabilidade de ocorrência dos acontecimentos iniciadores deve poder ser estimada.

A interpretação da árvore de falhas pode ser feita de forma qualitativa ou quantitativa. Em qualquer dos casos há que eliminar previamente sequências de eventos redundantes e que identificar os conjuntos mínimos de acontecimentos iniciadores que determinam a ocorrência da falha e os caminhos críticos.

Uma interpretação qualitativa parte, em geral, do pressuposto de que todos os acontecimentos iniciadores são equiprováveis, analisando em seguida quais os que determinam sequências de eventos que se propagam através de portas lógicas do tipo **OU** (os que mais facilmente conduzirão à falha do sistema) e quais os que originam essencialmente sequências que se propagam através de portas lógicas **E** (os que mais dificilmente conduzirão à falha do sistema). Por outro lado, quanto mais pequeno for o conjunto mínimo, mais facilmente ocorrerá a falha do sistema.

Quadro III. 4– Símbolos lógicos utilizados na construção de árvores de falhas

SÍMBOLO LÓGICO	DESIGNAÇÃO	OBSERVAÇÕES
	Porta E	O evento de saída ocorre apenas se todos os eventos de entrada ocorrerem
	Porta OU	O evento de saída ocorre se ocorrer pelo menos um dos eventos de entrada
	Porta OU exclusiva	O evento de saída ocorre se um único dos eventos de entrada ocorrer
	Porta E condicional	O evento de saída ocorre se todos os eventos de entrada ocorrerem por ordem, da esquerda para a direita
	Porta m em n	O evento de saída ocorre se m dos n eventos de entrada ocorrerem
	Porta Condicional	O evento de saída é resultado do evento de entrada se o evento condicional ocorrer
	Acontecimento iniciador	Evento elementar com potencial directo ou indirecto para originar a falha em análise
	Evento por desenvolver	Evento cujas causas estão por desenvolver
	Evento	Evento que resulta da associação lógica de outros eventos
	Símbolo de transferência	Evento que resulta de outra árvore de falhas

Não se verificando a equiprobabilidade dos acontecimentos iniciadores, uma análise qualitativa resulta bastante mais falível, sendo aconselhável que esta seja complementada com interpretações semi-quantitativas ou quantitativas. Estas visam estimar a probabilidade da falha em análise e das sequências e combinações de eventos, a partir da probabilidade de ocorrência dos acontecimentos iniciadores.

Tratando-se de uma tarefa complexa, e nalguns casos mesmo impossível de cumprir sem elevado grau de subjectividade, estes tipos de interpretação poderão ser utilizados com o objectivo de hierarquizar conjuntos mínimos e caminhos críticos, orientando a implementação de acções de redução dos riscos.

No Quadro III. 5 apresenta-se um exemplo ilustrativo de aplicação do método.

Quadro III. 5 - Exemplo ilustrativo de aplicação de uma árvore de falhas

