

CATÁSTROFES ANTRÓPICAS

UMA APROXIMAÇÃO INTEGRAL

IMPRENSA DA
UNIVERSIDADE
DE COIMBRA
COIMBRA
UNIVERSITY
PRESS

LUCIANO LOURENÇO
FÁTMA VELEZ DE CASTRO
(COORDS.)

RISCOS INERENTES À CONSTRUÇÃO CIVIL

RISKS INHERENT TO THE CONSTRUCTION INDUSTRY

José Simão Antunes do Carmo

Departamento de Engenharia Civil Faculdade de Ciências e Tecnologia
Universidade de Coimbra, Portugal

ORCID: 0000-0002-5527-3116 jsacarmo@dec.uc.pt

Sumário: Os acidentes em obras de construção civil são relativamente frequentes e, contrariamente ao que se poderia esperar, não se identificam alterações significativas no número de ocorrências ao longo das últimas décadas. Embora alguns acidentes ocorram por condições naturais adversas, a grande maioria é fundamentalmente devida a ações de natureza humana. Entre as ações naturais que mais têm contribuído para incidentes, acidentes e catástrofes em obras de engenharia civil relevam-se as precipitações intensas e prolongadas, que conduzem a inundações, a deslizamentos de terras e a infraescavações em fundações de estruturas, os sismos ou terremotos, tornados, furacões e ventos fortes. Entre as ações de natureza humana com maior contribuição para desastres neste domínio destacam-se erros de projeto, falhas ou erros de construção, faltas de inspeção, erros de gestão, manutenção inadequada, negligência e ações criminosas. Após uma breve análise de algumas obras de referência mundial em termos de dimensão e arrojado, verdadeiramente desafiantes das capacidades técnicas e construtivas atuais, prossegue este trabalho com alguns conceitos básicos sobre o risco e a sua perceção pela sociedade. As secções seguintes são dedicadas a levantamentos relativamente exaustivos dos incidentes,

acidentes e roturas ou colapsos ocorridos em todo o mundo com barragens, pontes, edifícios, túneis e obras costeiras no período de 1950 a 2017. Neste contexto, são igualmente abordados alguns dos acidentes com maior impacto económico e social que ocorreram em Portugal nas últimas duas décadas.

Palavras-chave: Barragem, ponte, edifício, túnel, risco, acidente, catástrofe.

Abstract: Accidents in the construction industry are relatively frequent and, contrary to what might be expected, there have been no significant changes in their number in recent decades. Although some accidents are caused by adverse natural conditions, the vast majority are fundamentally due to human action. The natural hazards that have contributed most to incidents, accidents and catastrophes in civil engineering works are prolonged heavy rainfall that has caused flooding, landslides and scour in the foundations of structures, and earthquakes, tornadoes, hurricanes and strong winds. Among the human actions that have contributed most to disasters in this area are design errors, construction failures, inspection errors, management errors, poor maintenance, negligence and criminal actions. After a brief review of some world-class construction works in terms of size and boldness, which truly challenge today's technical and construction capabilities, this work looks at some basic concepts about risk and how it is perceived by society. The following sections focus on relatively exhaustive surveys of incidents, accidents, failures and collapses that have struck dams, bridges, buildings, tunnels and coastal works around the world from 1950 to 2017. Likewise, accidents with most significant economic and social impacts that have occurred in Portugal in the last two decades are also addressed.

Keywords: Dam, bridge, building, tunnel, risk, accident, disaster.

Introdução

É função da construção civil contribuir para o desenvolvimento e bem-estar da sociedade, preservando o meio ambiente e prevenindo ocorrências indesejáveis. São parte integrante da construção civil as obras de infraestruturas, edificações e obras de arte em que intervêm técnicos com formação em engenharia civil e/ou arquitetura, assumindo um elevado grau de responsabilidade na sua conceção, na elaboração do projeto, na execução da obra e na avaliação de conformidade em plena atividade.

As exigências de qualificação e experiência dos técnicos envolvidos na construção civil são variáveis consoante as características e dimensões da obra, em conformidade com a legislação aplicável (Lei 31/2009, de 3 de julho, Lei 40/2015, de 1 de junho, e demais Leis e Portarias referidas nestes diplomas).

Uma boa obra de construção civil não é a que melhor resiste a ações que claramente ultrapassam a capacidade resistente para que foi concebida, mas sim a que apenas resiste às ações extremas para as quais foi projetada. Ou seja, trata-se de adequar o custo de uma obra à função para que é concebida. Por conseguinte, a preocupação de projetar com segurança e a custo adequado e controlado deve constituir uma regra de ouro presente em todos os empreendimentos de construção civil.

Os avanços em conhecimento científico e nos meios computacionais que se verificaram na segunda metade do século 20, especialmente a partir da década de 80, a par com uma perfeita harmonização entre a engenharia civil e a arquitetura, tornou possível a construção de edificações e obras de arte que eram impensáveis há poucas décadas atrás. São disso bons exemplos o ‘Burj Khalifa’, a maior estrutura construída pelo ser humano nos anos de 2004 a 2010, com 160 andares e 828 metros de altura, e a ‘Cayan Tower’, uma estrutura de 75 andares construída nos anos de 2006 a 2013 com uma impressionante forma helicoidal, girando 90 graus ao longo de sua altura de 306 metros. São duas torres localizadas no Dubai - EAU verdadeiramente desafiantes em termos arquitetónicos, como se documenta na fot. 1.

Igualmente dignas de relevo e desafiando as mais avançadas técnicas construtivas são as barragens ‘Three Gorges’ e ‘Jinping-I’, localizadas na China. A barragem ‘Three Gorges’ foi construída nos anos de 1994 a 2003 e dada por concluída em 2009, ano em que atingiu a altura de 175 m. Esta barragem tem finalidades de



Fot. 1 - Edificações localizados no Dubai: à esquerda o 'Burj Khalifa' com 160 andares e 828 m de altura; à direita a 'Cayan Tower' com uma forma helicoidal e 306 m de altura (Fotografias: cortesia de Ana Raquel Carmo, março de 2018)

Photo 1 - Dubai buildings: on the left the 'Burj Khalifa' with 160 floors and 828 m tall; on the right the 'Cayan Tower' with a helical shape and 306 m tall (Photos courtesy of Ana Raquel Carmo, March 2018).

produção de energia elétrica, controlo de cheias e navegação. A produção de energia elétrica teve início em 2003 e foi aumentando gradualmente até 2012, à medida que os geradores adicionais se foram tornando operacionais, com um total de 32 turbinas em funcionamento (Encyclopædia Britannica, 2018). Esta barragem tem uma capacidade de $39,3 \text{ km}^3$ e é atualmente o maior projeto hidroelétrico e a maior barragem do mundo, com um comprimento da albufeira de 660 km (fot. 2).

A barragem de Jinping-I (fot. 3) foi construída nos anos de 2005 a 2014 e é atualmente a barragem de arco mais alta do mundo, com 305 m (Wu *et al.*, 2016).

Também digna de registo é a ponte de São Francisco, nos Estados Unidos, a qual foi construída nos anos de 1933 a 1937, com um comprimento total de 2737 m e um vão principal de 1280 m entre as duas torres de 227 m de altura (fot. 4).



Fot. 2 - Maior barragem do Mundo na atualidade, com $39,3 \text{ km}^3$ de capacidade: 'The Three Gorges Dam', China (Encyclopædia Britannica, 2018).

Photo 2 - Currently the world's largest dam, capacity $39,3 \text{ km}^3$: "The Three Gorges Dam", China (Encyclopædia Britannica, 2018).



Fot. 3 - Barragem de arco mais alta do mundo na atualidade, com 305 m: Jinping-I, China (http://en.powerchina.cn/2016-12/28/content_27870606.htm).

Photo 3 - Currently the world's tallest arch dam, at 305 m: Jinping-I, China (http://en.powerchina.cn/2016-12/28/content_27870606.htm).

Foi a mais longa ponte suspensa até 1981 e a mais alta até 1993. Situa-se ainda atualmente entre as 10 pontes suspensas com maior vão do mundo. Em 1994 foi considerada uma das sete maravilhas da engenharia civil dos Estados Unidos pela Sociedade Americana de Engenheiros Civis (<https://www.history.com/topics/golden-gate-bridge>).



Fot. 4 - Ponte suspensa mais longa do mundo até 1981 e a ponte suspensa mais alta até 1993, situando-se ainda atualmente entre as 10 pontes suspensas com maior vão do mundo: São Francisco, EUA (<https://unsplash.com/photos/tN7fjdTaU40>).

***Photo 4** - The world's longest suspension bridge until 1981, and the highest suspension bridge until 1993. It is still currently one of the 10 largest suspension bridges in the world: San Francisco, USA (<https://unsplash.com/photos/tN7fjdTaU40>).*

A maior ponte suspensa da atualidade situa-se entre a cidade de Kobe e a ilha de Awaji, no Japão. Foi construída entre 1988 e 1998, tem 3911 m de comprimento total e um vão central de 1991 m (<https://gigantesdomundo.blogspot.pt/2011/10/as-10-maiores-pontes-suspensas-do-mundo.html>).

Contudo, nem sempre os grandes desafios constituíram grandes sucessos. Com efeito, o sucesso das edificações e das obras de arte mostradas nas figs. 1 a 4 não deve

(nem pode) fazer-nos esquecer os muitos insucessos que ano após ano vão consumindo muitos recursos materiais e, frequentemente, vidas humanas.

Com efeito, os riscos inerentes à construção civil são elevados e de diversas ordens. Uma obra de construção civil nunca é inteiramente segura; por mais pequeno que seja, existe sempre algum risco associado.

A este propósito recorda-se uma citação de Sir Michael Anthony Latham, em 1994: “*Nenhum projeto de construção civil é livre de risco. O risco pode ser gerido, minimizado, compartilhado, transferido ou aceite. Não pode ser ignorado*”.

O risco e a sua assunção diferem consoante a função que a obra desempenha, o seu valor económico e os bens naturais e eventualmente humanos potencialmente afetados em caso de acidente.

De notar que o risco R (€/PR) (PR = Período de retorno, normalmente 50 anos) é uma função de três variáveis ou componentes: cenário de *perigo/ameaça*, ou evento com risco H ($0-1/PR$), grau de *exposição* E , ou valor dos elementos expostos (€), e *vulnerabilidade* V ($0-1$), dada por:

$$\text{Vulnerabilidade, } V = \frac{\text{Perdas, ou valor dos danos (€)}}{\text{Valor, ou custo de reconstrução (€)}}$$

Cada uma destas componentes comporta (ou pode comportar) diferentes perspetivas e graus de admissibilidade, consoante a sensibilidade do julgador. Para um evento i , o risco é então expresso pela equação (1):

$$R_i = H_i \times E_i \times V_i \quad (1)$$

a qual poderá ser representada como mostra a fig. 1. Esta representação pretende conjugar fraquezas e forças, expondo as correspondentes ações de mitigação a observar.



Fig. 1 - Triangulação do risco, conjugando potenciais fraquezas e ações de mitigação.

Fig. 1 - Risk triangulation, combining potential weaknesses and mitigation actions.

O risco também poderá ser expresso pela probabilidade de ocorrência de um acidente $P(A)$, ou seja a concretização de um acontecimento indesejável (materialização do perigo), o qual terá consequências (C) adversas (perdas), isto é, potenciais danos para a saúde, a economia e o bem-estar das pessoas. Por conseguinte, para o mesmo acontecimento i , o risco poderá ser igualmente expresso por:

$$R_i = P(A)_i \times C_i \quad (2)$$

Importa notar que a ocorrência de um evento perigoso não se limita a danos diretos. Com efeito, os danos causados nos elementos materiais têm efeitos indiretos devidos, por exemplo, à interrupção de atividades socioeconómicas. Por conseguinte, é necessário obter estimativas para os efeitos indiretos, os quais se traduzem em danos para as infraestruturas e podem afetar uma grande área, mesmo a distâncias consideráveis da área de estudo. O risco total (R_t) é assim a soma dos riscos diretos com os efeitos indiretos sobre as atividades socioeconómicas.

Embora o fator de segurança (e portanto a redução do risco) seja cada vez mais uma preocupação presente em qualquer obra de construção civil, é importante reconhecer que estando cada vez mais em causa aspetos de natureza económica os riscos tenderão a aumentar no futuro.

Com preocupações de sistematizar o que se segue, propõe-se uma classificação dos riscos agrupando-os consoante a sua *causa*, em naturais ou provocados (falha humana), a sua *origem*, nas fundações ou na estrutura, e o período ou *fase* de ocorrência, durante a construção ou alguns anos após, em operação ou funcionamento. A fig. 2 mostra uma representação esquemática desta distribuição.

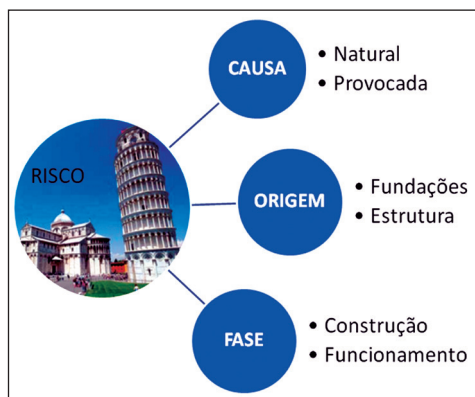


Fig. 2 - Classificação do risco em obras de construção civil, por agrupamento consoante a causa, a origem e a fase de potencial acidente.

Fig. 2 - Risk classification in the construction industry, by grouping according to cause, origin and stage.

As secções seguintes documentam diversos acidentes ocorridos em diferentes partes do globo, alguns por *negligência*, outros por *ignorância* ou *facilitismo*, e outros ainda por *malvadez*. Por questões de sistematização, os principais acidentes registados desde meados do século passado (anos 50) são agrupados por grandes áreas afins: barragens, pontes, edifícios e outros não incluídos naquelas áreas, como túneis e obras costeiras.

Barragens

Por barragem entende-se qualquer estrutura implantada num curso de água permanente ou temporário para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas, ou de misturas de líquidos e sólidos. Compreende a estrutura propriamente dita, a sua fundação, os órgãos de segurança e exploração e a albufeira.

De acordo com o Regulamento de Segurança de Barragens (RSB, 2007, 2018), publicado no Decreto-Lei nº 344/2007, de 15 de setembro, e alterado pelo Decreto-Lei nº 21/2018, de 28 de março, existem em Portugal cerca de 250 grandes barragens, isto é, barragens que se enquadram na seguinte definição:

- Altura igual ou superior a 15 metros, medida a partir do ponto mais baixo da fundação.
- Altura igual ou superior a 10 metros, cuja albufeira tenha uma capacidade de armazenamento superior a 1 hm³ (1 milhão de m³).

São pequenas barragens todas as restantes que não encaixam nesta definição.

Ainda em conformidade com o Regulamento de Segurança de Barragens, importa esclarecer o significado de alguns conceitos comuns no contexto do risco, e que doravante se usarão:

- Incidente – anomalia suscetível de afetar, a curto ou a longo prazo, a funcionalidade da obra e que implica a tomada de medidas corretivas.
- Acidente – ocorrência excepcional cuja evolução não controlada é suscetível de originar uma onda de inundação.

- Catástrofe – Ocorrência excepcional que provoca vítimas e danos sociais, materiais e ambientais, ultrapassando a capacidade da comunidade atingida para lhe fazer face.
- Risco de acidente ou de incidente – O produto dos danos potenciais pela probabilidade de ocorrência do acidente ou incidente com eles relacionado.
- Cenário de acidente ou incidente – Situação hipotética plausível que pode originar um acidente ou um incidente.
- Plano de Emergência - Conjunto de medidas integrando a avaliação dos danos potenciais e os procedimentos a adotar pelos diferentes intervenientes com vista a fazer face a situações de emergência associadas a ondas de inundação.

São igualmente correntes os seguintes conceitos:

- Deterioração – Qualquer situação que possa vir a afetar a funcionalidade ou a segurança.
- Rotura – Qualquer ocorrência no corpo da barragem, suas fundações, órgãos de segurança e zona da albufeira que tenha provocado a libertação não controlada de um grande volume de água para jusante.

No passado, a maioria das barragens era construída com um único objetivo, porém, nas últimas décadas, há um número crescente de barragens construídas com multiobjetivos. Recorrendo à publicação mais recente da ICOLD (2017), ou Comissão Internacional das Grande Barragens (CIGB, 2017), a irrigação é de longe o objetivo mais comum das barragens.

Entre as barragens que foram construídas com um único objetivo (ou fundamentalmente), 50 % são para irrigação, 20 % são hidroelétricas (produção de eletricidade), 11 % são para abastecimento de água, 9 % para controlo de enchentes (regularização), 5 % para recreação e práticas desportivas, e menos de 1 % para navegação e piscicultura.

Esta distribuição é significativamente diferente no caso de barragens com multiobjetivos. Com efeito, a mesma publicação esclarece que 24 % são para irrigação, 16 % são hidroelétricas (produção de eletricidade), 17 % para abastecimento de água, 19% para controlo de enchentes (regularização), 12 % para recreação e práticas desportivas, e 8 % para navegação e piscicultura.

Fatores de risco e metodologia de análise

Para além dos prejuízos económicos, a construção e exploração destes empreendimentos comporta riscos para as populações e bens materiais e ambientais na sua vizinhança, pelo que se torna indispensável controlar a segurança destas obras por intermédio de medidas adequadas de projeto, construção, exploração, observação e inspeção.

De acordo com o ICOLD (2017), as causas mais frequentes de falhas em barragens são:

- O galgamento, que é muitas vezes um precursor de falha da barragem. O galgamento pode ser devido ao projeto inadequado do descarregador (ou descarregadores), ao bloqueio por detritos dos descarregadores ou ao assentamento da crista da barragem.
- As deficiências em fundações, incluindo o assentamento e a instabilidade de encostas, são outra causa de falhas em barragens.
- A percolação, isto é, a erosão interna causada por infiltração é a terceira causa principal. O escoamento ocorre frequentemente em torno de estruturas hidráulicas, como tubagens e descarregadores, através de tocas de animais, em torno de raízes de vegetação lenhosa, através de fendas nas barragens e nas fundações das barragens.
- As outras causas de acidentes em barragens incluem falhas estruturais dos materiais usados na sua construção e manutenção inadequada ou inexistente.

O levantamento dos acidentes e roturas de barragens ocorridos em todo o Mundo desde os anos 50 do século passado é apresentado mais abaixo e permitirá confirmar estas causas.

Como se verá, as ocorrências naturais como fenómenos meteorológicos extremos, sismos e deslizamentos de encostas são importantes fatores de risco. Para além dos riscos resultantes de fenómenos hidrológicos excepcionais – cheias de grandes proporções - e de movimentos devidos a deslizamentos e a sismos, outros riscos podem resultar em consequência de erros de projeto, aspetos construtivos ou falhas na exploração da albufeira.

Por conseguinte, existe um elevado conjunto de riscos naturais e humanos que, quando combinados ou considerados separadamente, aumentam consideravelmente a probabilidade de rotura de uma barragem e, em consequência, de elevados prejuízos para pessoas e bens.

Em termos qualitativos ou semi-quantitativos, um método frequentemente usado para a avaliação do risco de um potencial acidente ou rotura de uma barragem é o designado *diagrama do tipo arborescente*, ou LCI (Localização, Causa, Indicadores de falhas). Este método é implementado em duas etapas. Numa primeira etapa procede-se à identificação e avaliação das potenciais consequências e à sua apreciação. Numa segunda etapa (condicionada aos resultados da primeira), procede-se à identificação e avaliação dos modos de rotura com capacidade para induzir uma onda de cheia no vale a jusante (Pimenta, 2008). A identificação das consequências conduz à estimativa do caudal de ponta na secção da barragem, ao tempo de chegada após a rotura e à altura atingida pela onda de cheia em secções do vale previamente definidas (Pinto, 2008).

Neste tipo de análise (qualitativa) são frequentemente construídas matrizes de risco. Nestas matrizes são normalmente consideradas 5 classes de probabilidade e 5 classes de consequências, conduzindo a um conjunto de apreciação do risco associado. A figura seguinte (fig. 3) exemplifica uma matriz de risco apresentada em Almeida (2006).

Gau de Probabilidade	Consequências				
	Quase Nula	Marginal	Séria	Crítica	Catástrofe
Frequente 100 Ocorrências / Unidade tempo	Indesejável	Indesejável A ser evitado Controlo nec.	Inaceitável	Inaceitável	Inaceitável Eliminado Transferido
Provável 10 Ocorrências / Unidade tempo	Aceitável se controlado	“	Indesejável	“	“
Ocasional 1 Ocorrência / Unidade tempo	“	Aceitável	“	Indesejável	“
Remota 1 Ocorrência/10 Unidades tempo	Desprezável	“	Aceitável	“	Indesejável
Improvável 1 Ocorrência/100 Unidades tempo	“	Desprezável Não ação	“	Aceitável	“

Fig. 3 - Matriz de risco (Adaptada de Almeida, 2006).

Fig. 3 - Risk matrix (Adapted from Almeida, 2006).

Naturalmente que estas matrizes são função das características da estrutura da barragem, da sua localização e dos valores em causa; por conseguinte, existirá sempre algum grau de subjetividade associado a uma avaliação deste tipo.

A redução do número de acidentes e roturas verificada nas últimas décadas dever-se-á fundamentalmente à melhoria dos materiais e das técnicas construtivas. Contudo, importa sublinhar que devido a aspetos de natureza económica e de aceitação do risco por parte das populações que potencialmente poderão ser atingidas, este panorama poderá alterar-se no futuro. No entanto, para efeitos de gestão e avaliação do risco na atualidade justifica-se conhecer alguns dados estatísticos tendo por base ocorrências passadas (Almeida, 2006).

- ❑ No período de 1799 a 1988, e num total de 180 barragens:
 - romperam 2,2% das barragens construídas até 1950;
 - romperam menos de 0,5% das barragens construídas após 1951;
 - 70% dos acidentes ocorreram nos primeiros 10 anos após a construção;
 - 70% das roturas ocorreram em barragens com alturas inferiores a 30 m.
- ❑ No período de 1960 a 1996:
 - 86% das vítimas ocorreram em acidentes com barragens de altura compreendida entre 6 m e 15 m;
 - 99% das vítimas localizaram-se nos primeiros 24 km a jusante das barragens.

Igualmente relevante em termos estatísticos é a distribuição percentual das roturas documentadas pelas fases de vida e tipo de barragem. Esta distribuição é mostrada na TABELA I e revela um diferente comportamento das barragens de betão e aterro, com as primeiras a registarem um maior número de roturas no primeiro enchimento (50% das roturas) e as segundas após os cinco primeiros anos de operação, embora em não tão elevada percentagem quanto as barragens de betão no primeiro enchimento.

TABELA I - Distribuição das roturas de barragens, em percentagem.

TABLE I - Distribution of dam failures, as percentage.

Fases da vida	Tipo de barragem	
	Betão	Aterro
Construção.	14	18
Primeiro enchimento.	50	20
Primeiros cinco anos.	14	17
Após cinco primeiros anos.	18	39
Indeterminado.	4	6

Fonte/Source: Pinto e Faria, 2001.

Causas de acidentes em barragens

Há muitas *causas* complexas para ocorrências de acidentes em barragens: por causas naturais ou provocados por falhas humanas, tendo *origem* nas fundações ou na estrutura e em *fase* de construção ou, como se mostra na TABELA I, nas diferentes fases de vida da estrutura.

Entre os riscos naturais mais importantes que ameaçam as barragens em plena operação incluem-se:

- Inundações por precipitação intensa e prolongada;
- Abalos sísmicos ou terremotos;
- Deslizamentos de terras;
- Degradação das fundações e/ou do corpo da barragem.

Entre as causas humanas que provocam ou contribuem para acidentes em barragens incluem-se:

- Falhas no projeto das fundações e/ou estrutural;
- Processos construtivos inadequados;
- Baixa qualidade dos materiais;
- Manutenção inadequada ou má gestão operacional;
- Subsidência devida a sobre-exploração do subsolo.

Qualquer uma destas causas pode levar à destruição total ou parcial de uma barragem e à formação de uma onda de inundação devastadora. Todas as causas de

rotura constituem ameaças potenciais para o sistema de vale a jusante, que inclui o rio, os terrenos, os edifícios, os bens ambientais e patrimoniais e as pessoas, juntamente com a sua organização social, e as infraestruturas.

Abordam-se em seguida os principais acidentes com barragens ocorridos em todo o mundo desde meados do século passado. Seguir-se-ão os casos de incidentes, acidentes e roturas ocorridos em barragens portuguesas e logo após descrições detalhadas de alguns acidentes fundamentalmente provocados por ação humana.

Em relação aos acidentes causados por ações naturais, suas causas e consequências, e uma descrição detalhada de alguns particularmente graves sugere-se a consulta de Antunes do Carmo (2013a). Para aprofundar os efeitos das diferentes causas naturais que podem conduzir à rotura de uma barragem, a filosofia de segurança, as vulnerabilidades e riscos, os procedimentos de avaliação e a gestão do conjunto albufeira-barragem-vale a jusante sugerem-se as seguintes consultas: Almeida (1999), Viseu (2006), Pinto (2008), Antunes do Carmo (2010), Viseu e Almeida (2011), Antunes do Carmo (2013a,b).

Tendo por base aquelas referências e em particular o sítio *Dam failure* da Wikipedia (DAMFAIL, 2018), verifica-se que se registaram 65 acidentes com algum significado, incluindo roturas, no período de 1951 a maio de 2018. De referir que esta relação não contempla os incidentes ou acidentes de pouca monta, nomeadamente os registados com barragens portuguesas, os quais serão objeto de análise subsequente.

Acidentes em barragens fora do espaço nacional no período de 1951 a maio de 2018

Seguindo a ordem decrescente do número de acidentes, as ocorrências documentadas na bibliografia em barragens fora do espaço nacional têm o seguinte enquadramento causal:

- Por precipitação intensa e prolongada foram registados **34** acidentes, com a seguinte distribuição: 10 nos Estados Unidos, 3 no Brasil, 2 no Canadá, 2 no Japão, 2 na Índia, 2 na Bulgária e vários com um acidente. Embora o excesso de precipitação constitua a primeira causa, o fator humano teve in-

fluência decisiva em grande parte dos acidentes. Uns casos por insuficiente capacidade dos órgãos de descarga (falhas de projeto), e outros casos por negligência, manutenção inapropriada e/ou falhas na exploração.

- Por manutenção inadequada ou má gestão operacional verificaram-se 16 ocorrências, 6 nos Estados Unidos e as restantes, na Indonésia, no Brasil, no Canadá, em Itália, em Espanha, na Roménia, na Rússia, no Nepal, na Síria e no Sri Lanka.
- Por falhas no projeto das fundações e/ou estrutural foram identificados 5 acidentes, 2 nos Estados Unidos e os restantes em Espanha, no Brasil e no Vietname.
- Por deslizamentos de terra ocorreram 3 acidentes, de que se destacam a barragem de Vajont em Itália, por deslizamentos nas margens da albufeira, e a barragem de Doñana na Andaluzia, Espanha, esta por deslizamento das fundações.
- Por processos construtivos inadequados foram identificados 2 acidentes em França e na Croácia, em ambos os casos por uso de explosivos.
- Por abalos sísmicos ou terremotos verificaram-se 2 ocorrências, no Japão e em Taiwan.
- Por degradação das fundações e/ou encontros da barragem identificou-se 1 ocorrência em França, a barragem de Malpasset. A rotura desta barragem foi provocada pela instabilidade e descontinuidade das fundações. Devido à heterogeneidade do solo numa das margens ocorreu o deslizamento e rotação do maciço que rompeu a estrutura. Erros de projeto e construtivos, por desconhecimento das características geológicas dos encontros e fundações da barragem, estão na base deste acidente.
- Por baixa qualidade dos materiais e negligência foi identificado 1 acidente em Espanha.
- Por subsidência devida à sobre-exploração de um campo petrolífero local registou-se 1 acidente em Los Angeles, Estados Unidos.

Estes dados permitem concluir que poucos acidentes em barragens poderão ser integralmente atribuídos a causas naturais. Mesmo os acidentes ocorridos por abalos sísmicos e deslizamentos em encostas e nas fundações poderão ter na sua origem erros de projeto ou construtivos devidos a alterações dos níveis freáticos dos solos e/ou o desconhecimento das características geológicas dos terrenos de implantação da barragem.

A representação destas ocorrências é mostrada na fig. 4 e dá uma ideia suficientemente clara do enquadramento causal dos 65 acidentes em barragens registados fora do espaço nacional no período de 1951 a maio de 2018.

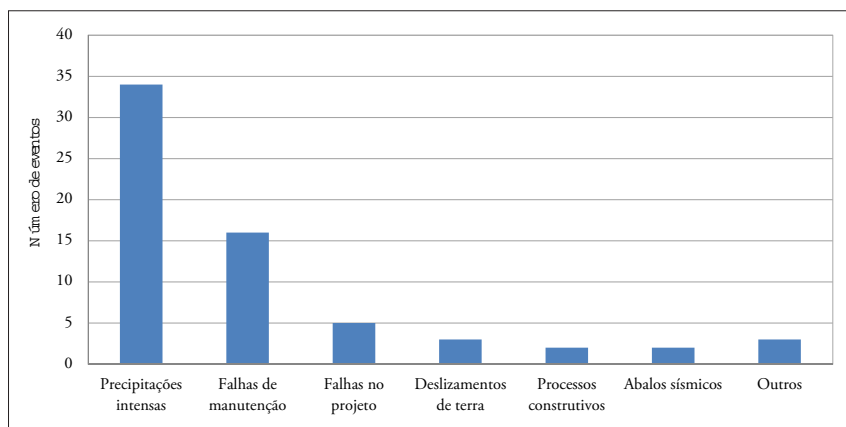


Fig. 4 - Distribuição causal dos acidentes em barragens ocorridos no período de 1951 a maio de 2018.

Fig. 4 - Causal distribution of accidents in dams from 1951 to May 2018.

Tendo em conta que os registos destas ocorrências muito provavelmente conterão omissões, os números acima poderão ser bastante superiores. De acordo com várias fontes, o número de acidentes com alguma gravidade ocorridos no século XX ter-se-á aproximado dos 200 (Almeida, 2006). Estes acidentes causaram a morte de algumas centenas de milhares de pessoas e terão deixado centenas de milhares sem habitação. Os exemplos que se descrevem mais adiante são bem a prova disso.

Acidentes em barragens nacionais

Em Portugal não há registos de acidentes graves (com perdas de vidas humanas) em grandes barragens. Todos os casos de incidentes, acidentes e roturas registados em Portugal apenas documentam prejuízos económicos, embora alguns casos com

montantes relativamente elevados. Assim, foram identificados poucos incidentes por instabilização das encostas, sendo o caso mais conhecido a barragem de Paradela, distrito de Vila Real, e vários acidentes por galgamentos e um por percolação excessiva em barragem de aterro.

Também por galgamento, ocorreu um acidente numa barragem de betão por gravidade, a barragem de Fagilde, distrito de Viseu. A maioria destes casos está associada a ocorrências de elevada precipitação e insuficiente capacidade dos órgãos de descarga.

Registaram-se ainda dois casos de rotura com algum significado. A TABELA II reproduz exemplos de incidentes, acidentes e roturas ocorridos em barragens portuguesas desde meados do século passado (Pinto e Faria, 2001).

Como se constata pelas descrições acima, a principal causa de acidente ou mesmo de rotura de uma barragem relaciona-se com precipitações intensas e prolongadas, conduzindo a galgamentos da barragem e à conseqüente ação erosiva do escoamento, enfraquecendo a fundação.

O fenómeno de percolação é muito comum em barragens de aterro e pode conduzir à rotura da barragem por arrastamento de material do corpo ou da fundação, formando zonas de enfraquecimento interno que irão aumentando por ação erosiva do escoamento. Com efeito, os acidentes em barragens de aterro ocorreram fundamentalmente por precipitações intensas e excesso de percolação. Outros acidentes em barragens de aterro, em bem menor escala, deveram-se a deficiências construtivas.

Os dados acima mostram também que a segunda causa de acidentes em barragens se prende com falhas de manutenção, ou manutenção inadequada, negligência e medidas de gestão operacional incorretas, seguindo-se os erros ou falhas no projeto das fundações e/ou estrutural.

Acidentes históricos em barragens

Pela importância económica e social que hoje representam, as barragens de Paradela, Fagilde e Agueira são objeto de particulares cuidados de gestão e operação; as duas primeiras têm mesmo projetos de ampliação em curso. Para a barragem de Paradela está em

TABELA II - Incidentes, acidentes e roturas em barragens portuguesas, no período de 1950 a 2000, em geral causados ou agravados por falha humana.

TABLE II - *Incidents, accidents and failures in Portuguese dams, from 1950 to 2000, generally caused or aggravated by human error.*

Barragem/Ano	Características	Tipo	Descrição/Causa
Campilhas/1954, Monte Novo/1982 e Ranhados/1986	Aterro, Gravidade, Gravidade.	Incidente.	Inundação das galerias de inspeção por falta de manutenção das bombas de drenagem.
Paradela/1956	Aterro, por enrocamento e cortina a montante.	Incidente.	Instabilização da encosta a jusante do descarregador. Falhas de projeto e construção.
Vaqueiros/1995	Aterro.	Incidente.	Repases no paramento de jusante, descarga de fundo e descarregador de cheias com capacidade insuficiente, ocorrência de subpressões no canal de descarga.
Zambujo/1994	Aterro.	Incidente.	Descarregador de cheias com capacidade insuficiente, danos no canal de descarga e bacia de dissipação.
Margalha/---	Alvenaria.	Incidente.	Repases no encontro direito e através da fundação.
Agueira/1981	Betão em abóbadas múltiplas.	Incidente.	Precipitação intensa e prolongada. Falhas de operação.
Monte Novo/1982, Corgas/1991 e Pego do Altar/1949	Gravidade, Gravidade, Enrocamento.	Acidente.	Comportas inoperacionais em período de cheias. Falhas de operação.
Fagilde/1984	Betão por gravidade.	Acidente.	Erro de operação e galgamento.
Gostei/1993 e Fonte Longa/1984	Aterro, Aterro.	Acidente.	Percolação excessiva no contato aterro/descarga de fundo.
Beliche/1986	Enrocamento.	Acidente.	Assentamentos excessivos.
Amieira/---	Aterro.	Acidente.	Galgamento.
Gata/---	Aterro.	Acidente.	Galgamento.
Água do Sobreiro/-	Aterro.	Acidente.	Galgamento.
Marzelonas/---	Aterro.	Acidente.	Galgamento.
Monte da Ribeira/--	Aterro.	Acidente.	Galgamento.
Venda Velha/1959	Aterro, de perfil homogéneo.	Rotura.	Galgamento da barragem, devido a insuficiente capacidade de vazão dos órgãos de descarga.
Hospitais/---	Aterro, de perfil homogéneo.	Rotura.	Inadequada espessura e forma do enrocamento de proteção. Descarga de fundo com diâmetro insuficiente.

Fonte/Source: Pinto e Faria, 2001; Miranda, 2014.

perspetiva uma nova central hidroelétrica subterrânea equipada com um grupo gerador reversível que garantirá um adicional de potência nominal de 318 MW (Paradela II). Para a barragem de Fagilde está em curso um aumento da capacidade da albufeira para abastecimento de água a populações em mais cerca de 1,0 a 1,5 hm³. Outros aspetos relevantes relacionados com estas barragens são detalhados em seguida.

Barragem de Paradela

A barragem de Paradela (fot. 5) está localizada na bacia hidrográfica do rio Cávado, no concelho de Montalegre, distrito de Vila Real. Tem uma altura máxima de 110 m acima do terreno e uma albufeira com capacidade de 164,5 hm³ e área de 380 hectares. Esta barragem foi construída com dois descarregadores, um em poço, na albufeira, sem controlo nem comportas, e outro na margem direita, com saída para a ribeira a jusante, munido de duas comportas. No início da exploração, e ainda durante os testes de funcionamento do descarregador, verificou-se elevada erosão nas margens e no fundo da linha de água, provocada pela saída de água do segundo descarregador. Este facto (incidente) levou os responsáveis pela exploração a desativarem esse descarregador (Miranda, 2014).



Fot. 5 - Barragem de enrocamento com cortina a montante (Paradela), no concelho de Montalegre, distrito de Vila Real (INRH, 2016).

Photo 5 - Rockfill dam with upstream curtain (Paradela), in Montalegre municipality, Vila Real district (INRH, 2016).

Barragem de Fagilde

A barragem de Fagilde (fot. 6) está localizada na bacia hidrográfica do rio Dão, nos concelhos de Viseu e Mangualde, ambos do distrito de Viseu, e abastece os concelhos de Viseu, Mangualde, Nelas e Penalva do Castelo. A barragem é em betão com uma estrutura do tipo arco abóboda e três contra fortes; tem 27,0 metros de altura, acima da fundação e 18,5 metros de altura acima do terreno natural. A albufeira tem uma capacidade aproximada de 3,0 hm³, estando previsto um aumento da sua capacidade de armazenamento em mais 1,0 a 1,5 hm³. Em novembro de 2017 a albufeira da barragem de Fagilde chegou a ter pouco mais de 300000 m³ de água, ou seja, cerca de 10 % da sua capacidade, tendo sido necessário um reforço de abastecimento de água a populações do distrito de Viseu. Apesar do perigo que, em geral, representa o galgamento de uma barragem, o acidente que ocorreu em 1984 não teve consequências graves para as fundações e corpo desta barragem.



Fot. 6 - Barragem de Fagilde, nos concelhos de Viseu e Mangualde, ambos do distrito de Viseu (<https://www.noticiasominuto.com/pais/889280/barragem-de-fagilde-em-viseu-vai-ter-reforco-de-agua>).

Photo 6 - *Fagilde dam, in Viseu and Mangualde municipalities, both in Viseu district* (<https://www.noticiasominuto.com/pais/889280/barragem-de-fagilde-em-viseu-vai-ter-reforco-of-water>).

Barragem da Aguieira

A barragem da Aguieira está localizada na bacia hidrográfica do rio Mondego, concelhos de Penacova, distrito de Coimbra, e de Mortágua, distrito de Viseu. Esta barragem foi construída nos anos de 1973 a 1981, tendo como principais objetivos a produção e fornecimento de energia hidroelétrica, a irrigação agrícola e o controlo de cheias, sobretudo na região do Baixo Mondego. É uma barragem do tipo “abóbadas múltiplas”, em betão. Possui 3 abóbadas de dupla curvatura e 2 contrafortes centrais que constituem, simultaneamente, dois descarregadores de cheia com capacidade de vazão de $2 \times 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ (fot 7). Além destes descarregadores principais de superfície, apresenta ainda uma descarga de fundo cuja capacidade de vazão é de $180 \text{ m}^3/\text{s}$. Entre os dois contrafortes encontra-se a central elétrica.



Fot. 7 - Barragem de abóbadas múltiplas (Aguieira, Portugal) (INRH, 2016).

Photo 7 - Multiple arch dam (Aguieira, Portugal) (INRH, 2016).

Ainda antes e durante precipitações intensas ocorridas no período de 26 a 30 de Janeiro de 2001 seguiram-se procedimentos de operação da barragem da Aguieira claramente inadequados, o que poderia ter conduzido ao galgamento e possível ro-

tura desta barragem 20 anos após a sua conclusão. Neste período verificaram-se 14 roturas nos diques do Baixo-Mondego - no Canal Principal, sobretudo na margem esquerda, e no Leito Periférico (Montemor-o-Velho) - e o rápido e violento alagamento dos campos, como mostra a fot. 8.



Fot. 8 - Rotura do dique na margem direita do canal principal (Baixo Mondego), junto a Santo Varão, a jusante de Coimbra (Cortesia de Pedro Proença Cunha, Antunes do Carmo, 2017).

Photo 8 - Dyke failure on the right bank of the main channel (Lower Mondego), near Santo Varão, downstream Coimbra (Courtesy of Pedro Proença Cunha, Antunes do Carmo, 2017).

Como ficou claramente expresso no Relatório Final elaborado pelo Grupo de Trabalho constituído pela Ordem dos Engenheiros (Região Centro) para a análise das cheias ocorridas naquele período, estas terão acontecido devido a um comportamento hidrológico inesperado do rio Ceira, “*provavelmente resultante da excessiva desflorestação das encostas produzida pela dramática sucessão de incêndios e/ou por uma política de ordenamento florestal e agrícola inexistente ou inadequada*” e, nomeadamente, devido a “*uma gestão menos correta da barragem da Aguieira*” e à “*fragilização da obra do Baixo-Mondego*”.

Independentemente dos eventos registados naqueles dias, os dados operacionais relativos às condições expressas no projeto da barragem e as verificadas no período do acidente foram as seguintes (Antunes do Carmo, 2017):

- **Considerado em fase de projeto:**

Cota máxima de enchimento: 125,0 m => Volume armazenado: 425,0 hm³

Cota mínima de exploração: 112,5 m => Volume armazenado: 277,0 hm³

=> Folga para cheias: 150,0 hm³ (encaixe de cheia centenária: 265,0 hm³)

- **Em operação, aquando do acidente:**

Cota mínima de exploração: 116,0 m (INAG/EDP, 1979; abastecimento público)

Volume total armazenado: 327,0 hm³

=> Folga para cheias: 100,0 hm³

Por conseguinte, estes dados mostram que se perdeu uma capacidade de encaixe de 50 hm³.

Mais recentemente, em 2016, ocorreu um novo acidente na barragem da Aguieira, igualmente por falhas de operação com as comportas de descarga da barragem, na sequência de um prolongado período de precipitação intensa, tendo conduzido a uma cheia com elevados prejuízos materiais e patrimoniais na cidade de Coimbra, como mostra a fot. 9.



Fot. 9 - Parque Verde de Coimbra e Convento de Santa Clara.

Photo 9 - Coimbra Green Park and Santa Clara Convent.

A nível mundial, no período de 1950 a 2015 foram particularmente graves os acidentes ocorridos nas barragens de Malpasset, Vajont, Banqiao and Shimantan e Situ Gintung. Estas ocorrências resultaram em consequência de falhas ou erros humanos e conduziram a roturas (Malpasset, Banqiao and Shimantan e Situ Gintung) e a um acidente (Vajont) com elevados prejuízos económicos e sociais, envolvendo centenas a milhares de perdas de vidas humanas. Detalham-se em seguida, por ordem cronológica, os antecedentes, as causas e as consequências destas ocorrências.

Barragem de Malpasset, França, 1959

A barragem de Malpasset foi construída entre os anos de 1952 e 1954 no rio Reyran, França, a cerca de 7 km a norte de Fréjus, na riviera Francesa (Côte d'Azur). Esta barragem era de betão em abóbada arqueada para montante, com uma capacidade de armazenamento de 50 milhões de m³ e tinha como principais objetivos o abastecimento de água a povoações e a irrigação dos campos da região.

A rotura da barragem de Malpasset, como ficou conhecida, deveu-se a falhas de projeto, por negligência do reconhecimento e caracterização geológico-geotécnica da fundação rochosa e dos mecanismos de deterioração da mesma que conduziram à instabilidade da estrutura. A rotura desta barragem gerou uma onda com altura de 50 m, tendo-se propagado com uma velocidade de 70 km/h e arrastado enormes pedaços de blocos de betão para o vale a jusante, parte deles pesando até 600 toneladas (Antunes do Carmo, 2013a).

Os custos humanos ascenderam a cerca de 450 vítimas, entre as quais cerca de uma centena e meia de crianças, e graves prejuízos na cidade de Fréjus. A fot. 10 mostra uma imagem recente de parte da albufeira e restos da barragem de Malpasset.

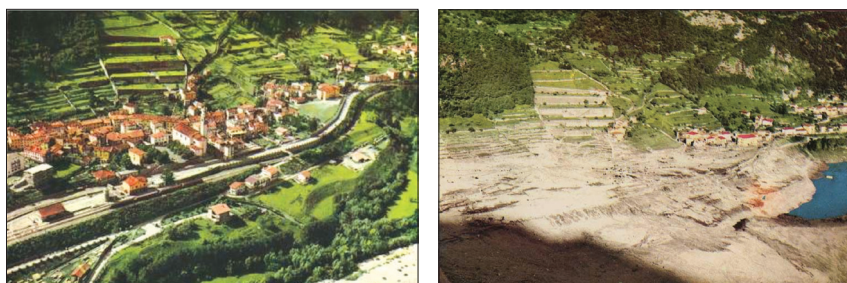


Fot. 10 - Imagem recente de restos da barragem de Malpasset (http://www.locmobilhome-var.fr/albums/barrage_de_malpasset/photos/94624271-barrage_de_malpasset__50_.html).

Photo 10 - Recent picture of the Malpasset dam ruins (http://www.locmobilhome-var.fr/albums/barrage_de_malpasset/photos/94624271-barrage_de_malpasset__50_.html).

Barragem de Vajont, Itália, 1963

A barragem de Vajont foi concluída em 1959 e era naquela época uma das maiores do mundo. Em 9 de outubro de 1963, cerca de 260 milhões de metros cúbicos de rocha deslizaram do topo do Monte Toc, na fronteira entre o Veneto e o Friuli Venezia Giulia. Ao penetrar na albufeira da barragem de Vajont, produziu uma enorme onda de pelo menos 50 milhões de metros cúbicos de água. Este acidente não provocou danos graves na barragem. Contudo, as inundações destruíram várias aldeias no vale a jusante, fizeram cerca de 2000 vítimas e muitas mais desapareceram. Morreram cerca de um terço dos habitantes de Longarone, a maior aldeia situada a jusante da barragem, a qual ficou no estado que a fot. 11 documenta.



Fot. 11 - A localidade de Longarone antes e após o deslizamento da encosta para o interior da barragem de Vajont, Itália, em 1963 (<http://www.environmentandsociety.org/arcadia/expecting-disaster-1963-landslide-vajont-dam>).

Photo 11 - Longarone village before and after the landslide into the Vajont reservoir, Italy, in 1963 (<http://www.environmentandsociety.org/arcadia/expecting-disaster-1963-landslide-vajont-dam>).

Embora o empreendimento tenha incorporado a mais avançada perícia técnica da época, a barragem foi construída sem a devida consideração pelos relatórios geológicos, que identificaram possíveis problemas tectónicos, e o desconhecimento local do território e das instabilidades do Monte Toc (<http://www.environmentandsociety.org/arcadia/expecting-disaster-1963-landslide-vajont-dam>).

Barragens de Banqiao, Shimantan e 62 outras de menor dimensão, China

A barragem de Banqiao foi construída na bacia do rio Huai, na província de Henan, China. A capacidade total da albufeira era de 492 milhões de m³, com 375 milhões de m³ reservados para regularização (volume previsto para encaixe de inundações). A barragem foi concluída em 1952; era uma barragem de aterro e tinha 24.5 metros de altura. Devido a erros de projeto e construtivos, inúmeras fendas apareceram na barragem logo após a sua conclusão. Estas fendas foram reparadas e a barragem manteve-se operacional durante pouco mais de 20 anos.

Com efeito, em agosto de 1975 o tufão Niña gerou uma tempestade com período de retorno de 2 mil anos, atingindo a região com as maiores chuvas alguma vez verificadas. Registaram-se em 24 horas mais de um ano de precipitação média. Apesar de ser já conhecido um recorde de 800 mm de chuva num dia, a barragem foi construída para resistir até 300 mm em 24 horas. Esta situação foi agravada com o tufão Niña, ao registar-se um novo recorde de 1060 mm nas mesmas 24 horas (<http://extremes-fdksyn.blogspot.pt/2012/04/o-pior-colapso-de-barragem.html>).

A chuva causou inundações maciças a jusante da barragem. Devido às áreas inundadas a jusante, em 6 de agosto foi rejeitado um pedido para abrir as comportas da barragem. Em 7 de agosto, um pedido para a abertura das comportas foi aceite, mas esta informação não chegou à barragem, pois a tempestade derrubara os fios do telégrafo. Quando finalmente foram abertas as comportas, estas revelaram-se incapazes de lidar com o volume de água afluyente. Em 8 de agosto o nível da água subiu 0,30 m acima da parede de proteção da barragem, a qual rompeu. A barragem de Shimantan e 62 outras barragens de menores dimensões na bacia do rio Huai também romperam. Estudos técnicos elaborados na altura apontavam para a necessidade de introduzir 12 comportas-eclusas na barragem, mas apenas 5 foram adotadas.

Este acidente na barragem de Banqiao e seguintes (fot. 12) gerou uma enorme onda a jusante, com 10 km de largura, 3-7 metros de altura e uma velocidade de 50 km/h, inundando toda a área. Estimativas apontaram para 26 000 vítimas devido às inundações e outras 145 000 em resultado de epidemias e fome. Foram destruídos cerca de 5 960 000 edifícios e 11 milhões de habitantes foram afetados (Environmental Justice Atlas, 2018).

De acordo com relatórios da época, as perdas de propriedades terão rondado os US\$ 500 milhões (<http://www.ntd.tv/2017/02/25/8-worst-floods-ever/>). Em 1993, esta barragem foi reconstruída vários metros mais alta.



Fot. 12 - Albufeira de Banqiao e Shimantan (<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/conheca-alguns-dos-maiores-desastres-com-barragens-no-mundo/>).

Photo 12 - Banqiao and Shimantan Reservoir (<http://www.pensamentoverde.com.br/meio-ambiente/conheca-alguns-dos-dos-desastres-com-barragens-no-mundo/>).

Barragem de Situ Gintung, Indonésia, 2009

Situ Gintung era um lago artificial perto da cidade de Cirendeu, no distrito de Tangerang, na Indonésia. O aproveitamento inicial consistiu numa barragem com 16 metros de altura construída pelas autoridades coloniais holandesas em 1933. A barragem rompeu em 27 de março de 2009, drenando o lago e vitimando pelo menos 100 pessoas com as inundações resultantes (BSG, 2009).

A descrição da Wikipedia: Situ Gintung (SGITU, 2018) dá uma ideia do curso de eventos e efeitos que se seguiram:

“A barragem foi galgada, erodindo a superfície da barragem e resultando numa rotura com 70 metros (230 pés) de largura por volta das 2h da manhã no dia 27

de março, horário local (19h00, 26 de março, GMT). Supostamente foram detetadas fendas na face do aterro da albufeira por volta da meia-noite. Os operadores da barragem terão feito soar uma sirene de alerta pouco antes do colapso da barragem. Uma onda de água e destroços com vários metros de altura propagou-se em direção à cidade de Cirendeu, arrastando carros, casas e uma ponte de tijolos. A enchente atingiu a maioria da população dormindo e a água manteve-se estática com cerca de 2,5 metros de profundidade. Muitas pessoas ficaram retidas na cidade, e muitas delas subiram aos telhados para evitarem as enchentes. A inundação vitimou 98 pessoas e outras 5 desapareceram. As  guas inundaram cerca de 400 casas, com 250 a ficarem danificadas ou destr idas, e desalojaram 171 pessoas”. O efeito destruidor das inundações que se seguiram à rotura desta barragem está bem patente na imagem da fot. 13.



Fot. 13 - Inundações após a rotura da barragem de Situ Gintung (BSG, 2009).

Photo 13 - Flooding after the Situ Gintung dam failure (BSG, 2009).

A *World Health Organization* (WHO, 2018) aponta as seguintes causas para a rotura da barragem de Situ Gintung:

- A barragem de Situ Gintung, com 32 metros de altura e uma capacidade de cerca de 70 milhões de p s cúbicos de água, foi construída no rio Pesangrahan há cerca de um século, sob o domínio colonial holandês.

- Apurou-se que terá sido descuidada a manutenção na barragem, e muitas barragens na Indonésia estariam em estado similar.
- O colapso da barragem de Situ Gintung foi causado pela incapacidade de acomodar mais água devido às fortes chuvas que caíram em alguns distritos nas províncias de Banten e Java Ocidental durante toda a noite de quinta-feira, 26 de março de 2009.
- A barragem foi galgada e rompeu em seguida por cedência da fundação, pois esta não foi construída em betão e não era suficientemente resistente.
- Fendas já haviam sido detetadas na parte inferior do aterro em fevereiro de 2008. Entretanto, já teriam sido preparados planos de evacuação em caso de inundações e tinha já decorrido um exercício de simulação de evacuação por inundações no ano transato.
- Apurou-se que os sucessivos incidentes da barragem de Situ Gintung terão sido muito provavelmente devidos a faltas de inspeções de rotina.

Pontes

As pontes são obras de arte com custos, em geral, muito elevados. São também as estruturas de construção civil que registam o maior número de acidentes estruturais e, frequentemente, com perdas de vidas humanas na fase de construção. Apesar dos grandes avanços nas tecnologias, nos materiais e nos processos construtivos, continuamos ainda hoje a assistir a significativos prejuízos materiais e humanos durante e após a construção de pontes.

Recorrendo às principais fontes de compilação dos acidentes ocorridos em pontes, o livro “*Bridge and Highway: Structure Rehabilitation and Repair*” (Khan, 2010) e a “*Wikipedia: List of bridge failures*” (LBF, 2018), para além de outras fontes que abaixo se referem, é possível proceder à seguinte ordenação de um total de 235 acidentes registados no período de 1950 a 2017, em conformidade com o agrupamento dos riscos apresentado na fig. 2:

- Entre as *causas* mais comuns registaram-se 56 acidentes devidos a condições naturais adversas (sismos, tornados, ventos fortes e furacões, cheias, inundações e infraescavações) e 179 direta ou indiretamente relacionados com atividades humanas (erros de projeto, falhas ou erros de construção, colisões de barcos, navios, veículos e comboios, faltas de inspeção, falhas de manutenção, negligência, erros de operação/gestão, explosões, incêndios e vandalismo).
- Quanto à *origem* ocorreram 38 acidentes devidos a problemas nas fundações e encontros (infraescavações, deslizamentos e assentamentos), 105 por motivos relacionados com aspetos estruturais (sismos, colisões, ventos fortes e furacões, faltas de inspeção, falhas de monitorização, negligência, erros de gestão, colisões, explosões, incêndios e vandalismo) e 92 indiferenciados ou mistos (em geral, erros de projeto – subdimensionamento ou não consideração de ações - e falhas ou erros de construção, sem origem identificada).
- Quanto à *fase* registaram-se 92 acidentes em menos de um ano, fundamentalmente devidos a erros de projeto e falhas ou erros de construção, e 143 verificaram-se um ano ou mais após a construção e entrada em serviço/circulação.

Quanto às causas mais comuns de acidentes em pontes, estas podem agrupar-se do seguinte modo:

- ❑ Causas fundamentalmente devidas a ocorrências naturais adversas: 18 (7,7% de um total de 235)
 - Sismos ou terremotos: 10
 - Ventos fortes, tornados e furacões: 8
- ❑ Causas fundamentalmente devidas à ação humana: 179 (76,2% de um total de 235, ou seja mais de $\frac{3}{4}$ dos acidentes em pontes são devidos a falhas ou erros humanos)
 - Falhas ou erros de projeto: 18
 - Falhas ou erros de construção: 74
 - Negligência, falhas de monitorização, faltas de inspeção, ou erros de gestão: 31

- Colisões de barcos e navios: 23
 - Colisões de veículos e comboios: 26
 - Derrames de óleo, explosões, incêndios ou atos de vandalismo: 7
- Causas mistas (fundamentalmente naturais e agravadas por negligência ou ação humana): 38 (16,2% de um total de 235)
- Infraescavação: 38

Os gráficos das figs. 5 e 6 são suficientemente elucidativos quanto à necessidade de desenvolver ações e implementar medidas tendentes à redução de acidentes de natureza fundamentalmente humana.

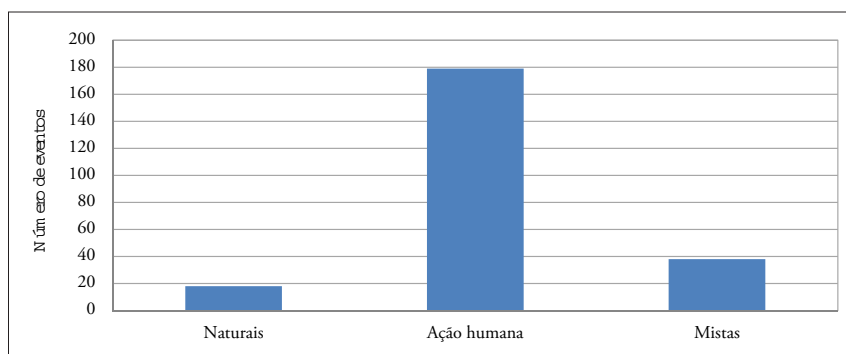


Fig. 5 - Causas de acidentes em pontes no mundo, ocorridos no período de 1950 a 2017.

Fig. 5 - Causes of bridge failures around the world between 1950 and 2017.

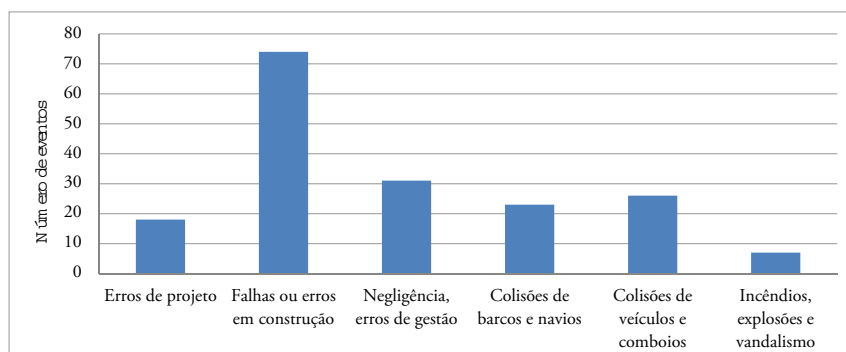


Fig. 6 - Acidentes em pontes fundamentalmente causados por ação humana no período de 1950 a 2017.

Fig. 6 - Bridge failures caused mainly by human action between 1950 and 2017.

As Tabelas que se seguem apresentam descrições detalhadas das causas e origens de importantes acidentes em pontes registados em todo o mundo no período de 1950 a 2017. Estas Tabelas foram construídas tendo como principais elementos de apoio Khan (2010) e LBF (2018).

Causas de acidentes em pontes fundamentalmente devidos a ocorrências naturais

Sismos ou terremotos

Os sismos ou terremotos são enormes ameaças para as pontes. Os impactos dos danos provocados por sismos são elevados e como tal é necessário dimensionar as estruturas de modo a mitigar os seus potenciais efeitos. Os sismos podem provocar danos em qualquer parte de uma ponte: tabuleiro, pilares, fundações, encontros e apoios. Segue-se a TABELA III com uma lista de acidentes causados por sismos/terremotos com intensidades média a elevada no período de 1950 a 2017.

Para se ter uma ideia clara dos danos típicos causados em pontes por sismos, mostra a fot. 13 os efeitos de um terremoto relativamente recente, com intensidade 7,2 na escala de Richter, ocorrido em 1995 no Japão. Esta figura mostra cedências típicas do tabuleiro de uma ponte e de pilares de betão que suportavam superestruturas de aço em Kobe, Japão (Bruneau, 1998).

Ventos fortes e furacões

Embora ainda hoje ocorram acidentes em pontes devidos à ação de ventos fortes e furacões, os mesmos tendem a ser menos frequentes face ao avançado conhecimento científico e às capacidades técnicas e construtivas atuais, permitindo ter em conta os reais efeitos destas ações.

TABELA III - Lista de acidentes em pontes devidos a sismos/terramoto (1950-2017).

TABLE III - *Bridge failures due to earthquakes (1950-2017).*

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	I-S and Antelope Valley Freeway interchange	Near San Fernando, CA	1971	Acidente por causa natural (terramoto de Sylmar).
	Cypress Freeway	Oakland, California	1989	Acidente por causa natural (terramoto de Loma Prieta).
	Section of east span of San Francisco-Oakland Bay Bridge	San Francisco, California	1989	Acidente por causa natural (terramoto de Loma Prieta).
	Motorway bridge	Junction Antelope Valley	1992	Cedência da ponte durante um terramoto.
	Interstate 5 Bridge	Los Angeles, California	1994	Terramoto com intensidade 6,6 na Escala de Richter.
JAPÃO	Showa Bridge	Showa	1964	Terramoto com intensidade 7,5, causando movimentos/ deslocamentos naturais nos pilares e fundações.
	Nishinomiya Bridge	Nishinomiya	1995	Terramoto de Hyogo-Ken Nanbu - separação dos dois pilares de apoio causada por deslocamentos laterais do solo.
	Hanshin elevated expressway (Kobe-Osaka highway)	Hanshin	1995	Terramoto de Hanshin (7,2 na Escala Richter), com grande destruição em pontes e numa via rápida.
	Bridge in Kashiwazaki City	Niigata	2007	Terramoto de Niigata-Chuetsu-Oki.
PAQUISTÃO	Various bridges	North of Pakistan and Azad Kashmir	2005	Terramoto com intensidade 7,6 na Escala de Richter.

Com efeito, na atualidade, a abordagem das questões técnicas relativas a estas ações estimula o uso de modelos em túnel de vento para uma avaliação preliminar das propriedades aerodinâmicas da forma da ponte. As propriedades mecânicas da ponte e a avaliação final da ação do vento são em



Fot. 13 - Cedência de um tabuleiro e falhas por esmagamento e/ou cisalhamento ocorridas na base e a meio de pilares de pontes em Kobe, Japão, na sequência do sismo de 1995 (Fonte: Bruneau, 1998).

Photo 13 - Deck collapse by crushing and/or shear failure in the base and middle of concrete piles supporting bridges in Kobe, Japan, after the 1995 earthquake (Source: Bruneau, 1998).

seguida realizadas recorrendo a modelos computacionais que incorporam os resultados do túnel de vento. Segue-se a TABELA IV com uma lista de acidentes causados em pontes por ventos fortes e furacões desde os anos 50 do século passado.

TABELA IV - Lista de acidentes em pontes provocados por ventos fortes e furacões (1950-2017).*TABLE IV - Bridge failures caused by high winds and hurricanes (1950-2017).*

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Eric Bridge	Cleveland, Ohio	1956	Acidente por causa natural (ventos fortes).
	Hood Canal Bridge	Washington	1979	Vento e tempestade.
	Interstate 10 Bridge	Phoenix, Arizona	1979	Acidente por causa natural (tempestade e ventos fortes).
	1900 built Kinzua Viaduct steel bridge	North Central Pennsylvania	2003	Devido a um padrão complexo de ventos de alta velocidade produzidos por um tornado com velocidade de 140 km/h.
	McCormick County bridge (Little River)	East of Mount Carmel, South Carolina	2004	Por detritos do furacão Jeanne empilhados contra os pilares de suporte da ponte.
	Interstate 10 Bridge	Escambia Bay, Pensacola, Florida	2004	Acidente por causa natural - furacão Ivan.
JAPÃO	Amarube railroad bridge	Kasumi, Hyôgo	1986	Vento forte.
ALEMANHA	A1 cable-stayed bridge over Nordelbe River	Hamburg	1970	Vibrações devidas ao vento - falha de projeto.

Causas de acidentes em pontes fundamentalmente devidos à ação humana

Falhas ou erros de projeto

Os erros de projeto não são tão incomuns como seria desejável. Apesar da avançada tecnologia disponível, seja em termos de observação e reconhecimento do terreno, seja em termos de cálculo estrutural, a análise da TABELA V permite concluir que ainda na atualidade, embora com menor frequência, os erros de projeto continuam a existir.

TABELA V - Lista de acidentes em pontes devidos a falhas ou erros de projeto (erro humano) (1950-2017).

TABLE V - Bridge collapses due to design faults or errors (human error) (1950-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Elbow grade bridge, timber truss	Willamette National Forest	1950	Partes de uma treliça subdimensionada.
	Silver bridge, chain suspension bridge	Ohio River	1967	Fadiga.
	Bridge over Kaskaskia River	Illinois	1970	Insuficientemente ancorada - erro de projeto.
	Syracuse bridge	New York	1982	Flambagem por torção devido a falta de apoio lateral.
	Oakland highway bridge	California	2007	Deficiência de projeto.
CANADÁ	Second Narrows Bridge	Vancouver, British Columbia	1958	Flambagem da viga transversal devido a erro de projeto.
	The Autoroute 19 Overpass bridge	Laval, Quebec	2006	Deficiência de projeto.
ALEMANHA	Continuous truss bridge over Leda River	Near Leer	1960	Sobrecarga horizontal de pressão sobre o terreno - erro de projeto.
	A2 bridge	Near Lichten-dorf, Schwerte	1968	Suportes móveis devidos a fluência, compressão e baixa temperatura - cabeça do pilar destruída, assentamento da ponte - falha de projeto.
	Rodach River bridge	Near Redwitz	1973	A ponte colapsou devido a sobrecarga do misturador de betão com falha de projeto.
	Vorland Bridge	Hochheim	1973	Temperatura elevada resultando em placas de suporte móveis - falha de projeto.
	Zeulenroda Bridge	East Germany	1973	Flambagem de uma placa devido a falta de reforço.
ÁUSTRIA	Reichsbrucke	Vienna	1976	Reforço insuficiente do pé de um pilar.
ÍNDIA	Assam bridge	Assam	1977	Peso de um comboio - sobrecarga.
	Punjab Province bridge	Punjab	1977	Vagão carregado sobre a ponte - sobrecarga.
	Dombivli Railway Station foot overbridge	Dombivli	2004	Projeto defeituoso, resistência insuficiente - falha durante a construção.
COREIA DO SUL	Seongsu Bridge	Seoul	1994	Deficiência de projeto.
COLÔMBIA	Chirajara Viaduct	Border between Cundinamarca and Meta	2017	As investigações apontam para uma falha no projeto do pilar que causou o colapso.

Falhas ou erros de construção

Sabendo que é nesta fase que uma ponte está mais vulnerável a erros, e que é durante esta etapa inicial que ocorre um maior número de falhas, é necessário ter cuidados elevados com todos os processos construtivos. A falta de controlo de qualidade dos materiais, uma construção excessivamente rápida e a fadiga do pessoal poderão ser alguns dos fatores que estão na origem das falhas ou erros.

Durante a construção de uma ponte existem vários itens que devem ser observados de forma a prevenir possíveis falhas. Alguns dos erros mais comuns incluem (Khan, 2010):

1. Inadequada colocação do cimbra ou a sua remoção prematura;
2. Contraventamento insuficiente ou ineficiente;
3. Sequência construtiva inadequada;
4. Sequência impropria de betonagem;
5. Incorreto traçado dos cabos de pré-esforço;
6. Deficiências de soldadura;
7. Insuficiente espessura de chapas *gusset* (chapas de fixação).

A TABELA VI permite identificar as causas e origens mais comuns de acidentes devidos a falhas ou erros de construção no período de 1951 a 2017.

TABELA VI - Lista de acidentes em pontes devidos a falhas ou erros de construção (1951-2017).

TABLE VI - Bridge failures due to construction faults or errors (1951-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Sullivan Square Viaduct motorway bridge	Boston, Massachusetts	1952	Instabilidade de andaimes durante a construção.
	Buckman Bridge	Jacksonville, Florida	1970	Plataforma repleta de água do mar esvaziada durante a construção - expansão da plataforma - colapso parcial da ponte.
	Motorway bridge (Arroyo Seco River)	Near Pasadena, California	1972	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco.
	Concrete 5-span box girder bridge near	Near Rockford	1979	Ocorrência de fendas e falha de uma junta preenchida com epóxi (não suficientemente endurecida para suportar a força de cisalhamento projetada).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Multiple span box girder bridge	East Chicago, Indianapolis	1982	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco.
	Prestressed concrete precast box girder bridge	Saginaw, Michigan	1982	Elementos de suporte temporário insuficientemente resistentes durante a construção.
	Walnut Street Viaduct over I-20	Denver, Colorado	1985	Falha da cabeça de um pilar durante a construção fazendo desabar 8 vigas para a estrada.
	El Paso bridge	El Paso, Texas	1987	Andaime inadequado durante a construção.
	Motorway bridge	Near Seattle, Washington	1988	Vigas indevidamente ligadas; efeito de domínio durante a construção.
	Box girder bridge	Los Angeles, California	1989	Desmoronamento após remoção de um andaime durante a construção.
	Baltimore bridge	Baltimore, Maryland	1989	Pré-esforço incorreto, com carregamento assimétrico durante a construção.
	Truss bridge	Concord, New Hampshire	1993	Sistema de reforço montado num lugar errado durante a construção.
	3-span 3-girder composite bridge	Near Clifton, Tennessee	1995	Sequência de construção executada sem cumprimento do planeamento realizado.
	Marcy bridge (Utica-Rome Expressway project)	Marcy, New York	2002	Flambagem global por torção durante a betonagem - ponte não apoiada corretamente.
	Imola Avenue Bridge	Napa, California	2003	Três macacos hidráulicos de 100 toneladas para elevar o revestimento falso não suportaram.
	Bridge near Pawnee City	Near Pawnee City, Nebraska	2004	Falha causada durante uma descarga de betão.
	I-70 Bridge	Denver, Colorado	2004	Escoramentos, presos à ponte com parafusos, soltaram-se quando uma viga entrou em colapso - falha de construção.
Minneapolis I-35W bridge over the Mississippi River	Minneapolis, Minnesota	2007	Colapso causado por placas de reforço subdimensionadas, aumento da carga de betão e peso do material/equipamento de construção.	
CANADÁ	Dawson Creek suspension bridge (Peace River)	British Columbia	1957	Movimentação de ancoragens em sapatas incorretamente fixadas - construção abaixo do padrão normal.
	Second Narrows Bridge (Gerber hinge)	Vancouver	1958	Detalhes de construção incorretos - falha de construção.
	Arch bridge over Rideau River	Ottawa	1966	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
	3-span arch bridge	Elwood	1982	Flambagem lateral de andaimes devido a suportes insuficientes - falha de construção.
	Composite bridge near Sept-Iles	Near Quebec	1984	Falha durante a construção devido a erros de cálculo - erros de projeto e construção.
	Highway 19	Laval, Quebec	2006	Falha de cisalhamento devido a barras de reforço colocadas incorretamente - betão de baixa qualidade.
	Nipigon River Bridge	Ontário	2016	Erros em parafusos que prendiam o rolamento de elevação às vigas principais da ponte - erros de projeto e construção.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
ALEMANHA	Motorway composite bridge	Near Kaiserslautern	1954	Rigidez insuficiente - falha de construção.
	Nordbrücke bridge over Rhine River	Dusseldorf	1956	Capacidade insuficiente do guindaste para o transporte de carga - falha na construção.
	Continuous motorway bridge	Near Limburg	1961	Assentamento de fundações temporárias, redistribuição de carga, colapso de andaimes - falha de construção.
	Heidingsfeld motorway composite bridge	Heidingsfeld	1963	Deficiências em placas temporárias de suporte de betão - falha de construção.
	Vorland Rees-Kalkar plate girder bridge	Between Rees and Kalkar	1966	Deficiências de suportes temporários - falha de construção.
	Bridge near Wennigsen, Niedersachsen	Near Wennigsen, Niedersachsen	1971	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
	Steel box girder bridge over Rhine River	Koblenz	1971	Flambagem de placa da treliça inferior em compressão - falha de construção.
	Continuous Hangbrücke over Laubachtal	Near Koblenz	1972	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
	Steel box girder bridge	Zeulenroda	1973	Flambagem de placa da treliça inferior - falha de construção.
	Bridge over Leubas River	Near Kempten	1974	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
	Brohltal bridge, segmental construction	Brohltal	1974	Esmagamento do betão por cedências dos apoios dos cabos de pré-esforço.
	Timber truss	Bad Cannstatt	1977	Sequência de construção não prevista - falha de construção.
	13-span Rottachtal bridge	Near Oy	1979	Grandes fendas, posição invertida de uma placa deslizante (parte superior/inferior) - falha na construção.
	Bridge near Dedensen	Near Dedensen	1982	Flambagem lateral de uma viga de suporte da construção durante a remoção dos apoios.
	Simple span, steel truss bridge	Road bridge	1982	Elementos de suporte temporários muito fracos - falha de construção.
	Bridge on DB Lohr-Wertheim railway line	Near Kreuzwertheim	1984	Uso de barras de elevação não certificadas e porcas de parafusos muito fracas - falha na construção.
	Composite Czerny Bridge	Heidelberg	1985	Uso de parafusos errados - falha de construção.
	New (composite) Grosshesselohe Bridge	Munich	1985	Ignorância da carga no deslocamento de andaimes móveis - falha de construção.
A3 motorway bridge (Main River)	Near Aschaffenburg	1988	Carga crítica não incluída durante o lançamento incremental - falha de cisalhamento durante a construção.	
Approach bridge (beam-and-slab)	Cologne-Wahn Airport	1995	Desmoronamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.	

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
INGLATERRA	Barton Bridge	Lancashire, England	1959	Flambagem de reforços temporários - falha de construção.
	Cleddau Bridge	Milford Haven, Wales	1970	Lançamento incremental de longa distância; placa de uma viga sobrecarregada - falha de construção.
	Loddon Bridge	Berkshire, England	1972	Colapso de 24 m da ponte durante a colocação de betão devido a falhas de operação - falha de construção.
ÁUSTRIA	Fourth Danube Bridge (plate box girder bridge)	Vienna	1969	Flambagem da placa da treliça inferior em compressão - falha de construção.
	Soboth prestressed concrete bridge	Soboth	1970	Desmoroamento devido a barras de pré-esforço incorretamente posicionadas - falha de construção.
	Prestressed concrete bridge over Tauern motorway	Gmund	1975	Resistência do betão ainda insuficiente; construção em desacordo com o projeto.
	Rheinbrücke bridge over Rhine River	Near Hochst, Vorarlberg	1982	Desmoroamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
ESPAÑHA	Almuñécar motorway bridge	Almuñécar, Province of Granada	2005	Parte desabou durante a construção - razão desconhecida.
ÍNDIA	Bihar district bridge	Bihar	1978	Falha de construção.
	Flyover bridge	Punjagutta, Hyderabad, Andhra Pradesh	2007	Falha de construção.
	Vivekananda Flyover Bridge	Kolkota	2016	Falhas em parafusos que suportavam uma seção da ponte quebrada.
JAPÃO	Prestressed concrete bridge	Avato, Japan	1979	Diferenças de comprimento surgidas na ligação de placas/colunas vindas de ambas as extremidades da ponte. A construção temporária para corrigir o erro levou ao colapso.
	Tokyo West bridge over Tama River	Tokyo West	1984	Sequência de remoção do andaime incorretamente planeada - falha de construção.
	Hiroshima bridge	Hiroshima	1991	Problemas de estabilidade e deslizamento - falhas de construção.
AUSTRÁLIA	Westgate Bridge over Yarra River	Melbourne	1970	Flambagem de placa devida a fracasso de endurecedores longitudinais - sequência de construção incorretamente planeada.
	Loddon River bridge	Near Victoria	1972	Desmoroamento de andaime sob o peso de betão fresco - falha de construção.
ISRAEL	Maccabiah bridge collapse	Tel Aviv	1997	Erros de projeto e falha de construção.
DINAMARCA	E45 Bridge	Nørresundby	2006	Desmoroamento durante a reconstrução devido a erro de cálculo.
	Motorway bridge	Copenhagen, Denmark	2014	Erro de construção.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
CHILE	Loncomilla Bridge	near San Javier	2004	Estrutura não construída em rocha, como projetada, mas em terreno aluvionar.
RÚSSIA	Yekaterinburg bridge	Yekaterinburg	2006	Colapso durante a construção.
COREIA DO SUL	---	South Korea	2007	Partes da ponte colapsaram durante a construção.
CHINA	Tuo River bridge	Fenghuang, Hunan	2007	Uso de materiais de má qualidade e trabalhadores migrantes com pouco ou nenhum treino de segurança.
	Yangmingtan Bridge over the Songhua River	Harbin	2012	Sobrecarga e uso de material de construção inadequado (suspeito).
VIETNME	Cần Thơ Bridge	Cần Thơ	2007	Colapso de um pilar temporário devido à fundação arenosa em que foi colocado.
NORUEGA	Bridge under construction for road E6 at Lade/Leangen	Trondheim	2013	Colapso durante a construção.
BRASIL	Belo Horizonte overpass collapse	Belo Horizonte	2014	Erro de construção.
ÁFRICA DO SUL	Grayston Pedestrian and Cycle Bridge	M1 road (Johannesburg)	2015	Colapso de obras temporárias durante a construção.
QUÊNIA	Sigiri Bridge	Nzoia River, Budalangi, Busia County	2017	Entrada em colapso durante a construção.

Na fot. 14 regista-se um impressionante acidente ocorrido em janeiro de 2018 numa região montanhosa da Colômbia. Esta ponte fazia parte de uma ligação entre Bogotá e Villavicencio, num percurso de 120 quilómetros com vários túneis e outras pontes; tinha 446 m de comprimento e mais de 280 m de altura. A queda da ponte ocorreu em fase de construção, quando faltavam apenas 20 metros para terminar o seu fechamento definitivo. Este acidente causou pelo menos 9 mortes e 3 feridos. As causas de desmoronamento ainda são desconhecidas e continuam em investigação (https://brasil.elpais.com/brasil/2018/01/16/internacional/1516062520_239532.html).



Fot. 14 - Ponte que ligaria Bogotá a Villavicencio, Colômbia, após o desabamento (https://brasil.elpais.com/brasil/2018/01/16/internacional/1516062520_239532.html).

***Photo 14** - Bridge connecting Bogota to Villavicencio, Colombia, after its collapse (https://brasil.elpais.com/brasil/2018/01/16/internacional/1516062520_239532.html).*

Negligência, falhas de monitorização, faltas de inspeção ou erros de gestão

Adequados procedimentos de monitorização e inspeções regulares são as medidas mais eficazes para evitar este tipo de acidentes. Contudo, mesmo que existam adequadas diretrizes, planos de emergência devidamente ensaiados e sejam verificadas as necessárias precauções, os acidentes por causas naturais e as falhas humanas continuarão a ocorrer. Estes instrumentos e cuidados têm vindo a ser paulatinamente implementados e fazem hoje parte dos procedimentos de gestão de qualquer ponte; contudo, como mostra a TABELA VII, não parece haver uma redução significativa destes acidentes nos últimos 50 anos.

TABELA VII - Lista de acidentes em pontes por negligência, falhas de monitorização, faltas de inspeção ou erros de gestão (1951-2017).

TABLE VII - Bridge failures due to negligence, poor oversight, inspection faults or management errors (1951-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Point Pleasant Bridge	West Virginia	1967	Fenda por fadiga na ponte de suspensão.
	3-span bridge in Lafayette Street	St-Paul, Minnesota	1975	Fratura frágil em novo aço.
	Fulton Yates Bridge	Near Henderson, Kentucky	1976	Sobrecarga durante a remodelação.
	K&I Railroad Bridge	Louisville, Jefferson County, Kentucky	1979	Veículo com peso limite excedido – sobrecarga.
	Connecticut Turnpike Bridge (Mianus River)	Near Greenwich	1983	Corrosão numa junta (junta Gerber); tensões reduzidas devido ao enviesamento.
	Sergeant Aubrey Cosens VC Memorial Bridge	Latchford, Ontario, Canada	2003	Corrosão de pinos que suportavam as vigas inferiores de longo alcance.
	Shannon Hills Drive bridge	Shannon Hills, Arkansas	2004	Desabamento de ponte pedonal devido ao peso de um guindaste - sobrecarga.
	Sappa Creek bridge	Northwest of Norcatur, Kansas	2004	Sobrecarga devida a um camião pesado sobre a ponte.
	Laurel Mall pedestrian bridge connecting parking and shopping areas	Laurel, MD	2005	Ponte segura por parafusos de metal e suportes que corroeram.
	Lakeview Drive Bridge, Interstate 70	Washington County, PA	2005	Sal à entrada drenando para um viaduto e corroendo uma viga de betão.
	Interstate 35W over Mississippi River	Minneapolis, Minnesota	2007	Ponte enfraquecida por deficiências estruturais.
Harp Road bridge	Oakville, Washington	2007	Desmoronamento sob o peso de um camião que transportava uma escavadora – sobrecarga.	
CANADÁ	Duplessis bridge, plate girder composite bridge, 2-span, (St. Maurice River)	Between Montreal and Quebec	1951	Fracasso de aço novo - material de construção de baixa qualidade. Emprego de materiais não certificados - erro de gestão.
	Wood trestle bridge	Near McBride, British Columbia	2003	Desabamento sob um comboio de carga devido ao avançado apodrecimento da ponte de madeira - falhas de inspeção e manutenção da ferrovia.
INGLATERRA	Suspension bridge	Near Bristol, England	1978	Tráfego inesperado de camiões pesados; falhas de suporte e erros de construção - sobrecarga.
	Ynys-y-Gwas Bridge	West Glamorgan, Wales	1985	Construção segmentar com juntas finas e argamassa altamente permeável, permitindo a penetração de humidade e cloretos nas articulações - deterioração.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
ÁUSTRIA	Timber foot bridge	Near Zell am See, Pinzgau	1974	Pilares apodrecidos não detetados durante a inspeção - deterioração.
	Reichsbrucke over Danube River	Vienna	1976	Destruição de um pilar não reforçado devido aos ciclos de congelamento-descongelamento - falta de inspeção e manutenção.
	Timber foot bridge	Vorarlberg	1976	Pilares apodrecidos, sem inspeção - deterioração.
ÍNDIA	Damanganga River bridge	Daman	2003	Irregularidade e falhas da administração de reparações; deveria ter sido substituída 15 anos antes.
AUSTRÁLIA	King Street Bridge over Yarra River	Melbourne	1962	Fracasso de aço novo; falta de testes de materiais - erro de gestão.
CHINA	Water bridge	Taiyuan, Shanxi-province	2007	Sobrecarga devida à passagem de um veículo com 180t, estando a ponte projetada para 20t.
	Zhuzhou City, Hunan Province	Zhuzhou City, Hunan Province	2009	Entrada em colapso durante o processo de demolição.
	Gongguan Bridge	Wuyishan, Fijian	2011	Sobrecarga.
	No. 3 Qiantang River Bridge	Hangzhou, Zhejiangpro	2011	Sobrecarga.
	Baihe Bridge in Huairou district	Beijing	2011	Sobrecarga devida à passagem de um veículo com 160t de areia, estando a ponte projetada para um máximo de 46t.
NEPAL	Chhinchu suspension bridge	Nepal-gunj, Biren-dranagar	2007	Sobrecarga em ponte suspensa.
COSTA RICA	Tarcoles Bridge	Orotina	2009	Sobrecarregada por camiões pesados e cargas contínuas (tubos de água).
INDONÉSIA	Yellow 'Love' Bridge	Klungkung Regency	2016	Sobrecarga.
REPÚBLICA CHECA	Troja footbridge	Prague	2017	Provavelmente por corrosão e/ou danos em cabos de suspensão, impossibilitando a sua inspeção efetiva.
GRÉCIA	Provincial road Ksanthi-Iasmos at Kompstos river crossing	Eastern Macedonia and Thrace district	2017	Provavelmente por deficiências nos tempos de limpeza e na inspeção.

Colisões de barcos e navios

As pontes, mais especificamente os seus pilares, situadas em rios com nevoeiro e na escuridão, são ocasionalmente atingidas por barcos e navios. Naturalmente que se exige a instalação de meios de observação e deteção mas eficazes, e aparentemente tal poderá estar a acontecer, pois, como mostra a TABELA VIII, nos últimos anos não se têm registado acidentes com grande significado causados por barcos, navios ou mesmo gelo flutuante.

TABELA VIII - Lista de acidentes em pontes devidos a colisões de barcos e navios (erro humano) (1951-2017).

TABLE VIII - Bridge failures due to being struck by boats and ships (human error) (1951-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Bridge near Charleston	(Cooper River), South Carolina	1965	Impacto de navio - erro de navegação.
	Chesapeake Bay Bridge	Annapolis, Maryland	1970	Um navio militar perdeu o controlo e atingiu a ponte durante uma tempestade; cinco vãos desmoronaram e outros 11 ficaram danificados.
	Sidney-Lanier Bridge	Brunswick, Georgia	1972	Impacto de um navio devido a mau-entendimento entre o capitão e a equipa.
	Chesapeake Bay Bridge	Annapolis, Maryland	1972	Impacto de um navio - dois vãos colapsaram e cinco outros ficaram danificados.
	Lake Pontchartrain bridge	Lake Pont	1974	Impacto de um navio, por adormecimento do capitão.
	21-span, Pass Manchac Bridge	Louisiana	1976	Impacto de um navio, por erro do capitão.
	Benjamin Harrison Memorial Bridge (James River)	Near Hopewell, Virginia	1977	Impacto de um navio, por falha eletrónica de orientação do navio.
	Bridge over Passiac River	Union Avenue, New Jersey	1977	Impacto de um navio, tendo causado dois colapsos.
	Southern Pacific Railroad Bridge	Berwick Bay, Louisiana	1978	Impacto de um navio, tendo causado a queda de uma treliça de aço de uma altura de 70 m.
	Sunshine Skyway Bridge	Near St. Petersburg, Florida	1980	Impacto de um navio, por mau tempo e insuficiente cuidado do capitão.
	Herbert C. Bonner Bridge (Oregon Inlet)	North Carolina	1990	Impacto de um navio - quatro pilares foram danificados e cinco vãos colapsaram.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Truss bridge	Near Mobile, Alabama	1993	Impacto de um navio.
	Queen Isabella Causeway	South Padre Island, Texas	2001	Ponte atingida por quatro barcas e um rebocador.
	Interstate 40 Bridge over the Arkansas River	Webber Falls, Oklahoma	2002	Colisão de um navio com um dos pilares, tendo a ponte colapsado num comprimento de 150 m.
	9 Mile Road Bridge at I-75	Hazel Park, Michigan	2009	Desmoronamento da ponte devido a um acidente com um petroleiro.
	Eggner Ferry Bridge over the Tennessee Rive	Between Trigg County, Kentucky and Marshall County, Kentucky	2012	Ponte atingida na sua parte inferior pelo MV Delta Mariner, quando este viajava num percurso incorreto do rio.
CANADÁ	Fraser River Swing Bridge	New Westminster/ Vancouver	1975	Impacto de um navio, tendo causado colapsos em 120 m do vão - acidente.
AUSTRÁLIA	Tasman Bridge over Derwent River	Hobart, Tasmania	1975	Impacto de um navio, por inexperiência do capitão.
CHINA	Bridge over river	Southern China	2007	Ponte atingida por um navio, devido ao nevoeiro.
	Highway 325 Bridge over the Xijiang River	Foshan, Guangdong	2007	Ponte atingida por uma embarcação.
	Jintang Bridge	Ningbo, Zhejiang-province	2008	Impacto de um navio na estrutura de apoio inferior da ponte.
SUÉCIA	Almo Bridge	Near Gothenburg, Sweden	1980	Impacto de um navio no arco de aço da ponte, devido à falta de visibilidade causada por mau tempo.
DINAMARCA	Jernbanebroen over Limfjorden	Aalborg	2012	Impacto de um navio.

Colisões de veículos e comboios

O impacto acidental de comboios é outra das causas relativamente frequente nos acidentes em pontes. Também o impacto de veículos pode originar danos ir-

reparáveis nas pontes. Nos meses de Inverno, a formação de camadas de gelo no alcatrão pode criar uma superfície escorregadia para as rodas dos veículos. O gelo pode provocar a deterioração do alcatrão e criar, desta forma, um maior risco para os veículos. Um número significativo destas ocorrências é descrito na TABELA IX.

TABELA IX - Lista de acidentes em pontes devidos a colisões de veículos e comboios (erro humano) (1951-2017).

TABLE IX - Bridge failures due to being struck by vehicles and trains (human error) (1951-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Alabama Rail Bridge	Alabama	1979	Impacto de um comboio.
	Truss bridge over Milwaukee River	Trenton, Wisconsin	1980	Impacto de um camião na treliça principal.
	Truss bridge	Shepherdsville, Kentucky	1989	Ponte atingida por um coletor de lixo.
	Historic Tewksbury Township pony truss bridge	Hunterdon County, New Jersey	2001	Pilar da ponte atingido por um camião, causando o seu colapso.
	Highway 14 overpass over I-45	60 miles south of Dallas, Texas	2002	Impacto de um camião no viaduto, causando o colapso da ponte.
	Turkey Creek Bridge	Sharon Springs, Kansas	2002	Incêndio na ponte de madeira causado pelo sobreaquecimento dos freios de um comboio.
	I-95 bridge	Bridgeport, Connecticut	2004	Incêndio na ponte causado pela colisão de um carro com um petroleiro.
	West Grove Bridge	Silver Lake, Kansas	2004	Desmoronamento da ponte após o descarrilamento de 40 dos 137 vagões de um comboio de carvão.
	MacArthur Maze	Oakland, California	2007	Colisão e explosão de um camião-tanque, resultando em cortes de aço de talhas que caíram, fazendo com que a ponte entrasse em colapso.
	Scott City roadway bridge collapse	Scott City, Missouri	2013	Impacto de um comboio, fazendo com que numerosos vagões atingissem um pilar de sustentação de um viaduto rodoviário, derrubando duas seções da ponte sobre a linha férrea.
ALEMANHA	2-span bridge over motorway A2	Near Dortmund	1979	Impacto de um do camião a alta velocidade em pilares - acidente.
	2-span composite bridge over motorway A3	Near Duisburg	1979	Libertação de um guindaste na traseira de um camião, impactando o convés da ponte - acidente e sobrecarga.
	2-span continuous composite bridge over motorway A1	Near Sittensen	1979	Perda de controlo de um camião e embate num pilar da ponte - acidente.
	Suspension bridge over Dortmund-Ems Canal	Near Munster	1980	Impacto de um camião num suporte da ponte devido a gelo.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
ALEMANHA	Bridge over Mittlerer Ring	Munich	1981	Auto ereção repentina no impacto de um caminhão basculante - acidente e sobrecarga.
	2-span bridge (over railway)	Near Eschede	1998	Impacto de um comboio descarrilado sob a ponte - acidente.
	Wuppertal Schwebebahn bridge over Wupper River	Wuppertal Schwebebahn	1999	Descarrilamento de um comboio provocado por pessoal de manutenção ao deixarem o equipamento de manutenção nas faixas.
INGLATERRA	St. John's Bridge	London	1957	Descarrilamento de um comboio com 350 toneladas forçando o cais de aço da ponte, que desmoronou.
	Bridge over M62 motorway	Near Manchester, England	1975	Impacto de um guindaste na estrada - acidente.
	Historic wood and metal bridge	Codsall Railway Station, Staffordshire, England	2005	Desabamento da ponte após ser atingida por um veículo de manutenção - acidente.
CHINA	Overbridge over Chengdu-Kunming Freeway	Zigong	2011	Colisão de um caminhão contra um pilar de suporte de betão.
ÍNDIA	Bridge over Beki River	Northeast of India	1977	Impacto de um comboio descarrilado na ponte - acidente.
AUSTRÁLIA	Bridge near Granville Station over railway line	Sydney	1977	Impacto de um comboio descarrilado sob a ponte.
QUÊNIA	Nimule	Nimule	2006	Ponte atingida por um caminhão sobrecarregado com cimento.
GUINÉ	---	South eastern Guinea	2007	Desmoronamento da ponte sob o peso de um caminhão cheio de passageiros.
REPÚBLICA CHECA	Road bridge	Studénka	2008	Embate de um comboio numa ponte rodoviária sobre uma ferrovia em construção, que desabou imediatamente antes da chegada de outro comboio.

Derrames de óleo, explosões, incêndios ou atos de vandalismo

Sabe-se que os atos de vandalismo, e em geral também as explosões e os incêndios, são fenômenos que saem na maioria das vezes do controlo do Homem. Devem ter-se sempre em conta possíveis situações deste tipo. A TABLEA X mostra algumas destas ocorrências.

TABLEA X - Lista de acidentes em pontes por derrames de óleo, explosões, incêndios ou atos de vandalismo (1951-2017).

TABLEA X - Bridge failures due to oil spills, explosions, fires or acts of vandalism (1951–2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Notre Dame Bridge	Manchester, New Hampshire	2003	Incêndio criminoso.
	I-95 bridge	Northeast of Philadelphia, Pennsylvania	2004	Incêndio devido à queima acidental de pneus usados, espalhados junto aos pilares da ponte.
	Wooden bridge spanning Rio	Pico Rivera, California	2005	Incêndio criminoso com início em combustíveis debaixo da ponte, tendo-se espalhado pela infraestrutura de madeira.
	I-85N Atlanta	Atlanta	2017	Incêndio envolvendo tubulações de HDPE e outros materiais de construção armazenados sob a ponte, estrutura criticamente enfraquecida, que colapsou.
CANADÁ	Beaver River Trestle Bridge	Alberta	2012	Incêndio criminoso, intencionalmente provocado por três homens.
INGLATERRA	Tubular Britannia Bridge	Menai Straits, Whales	1970	Deflexões provocadas na superestrutura da viga de uma caixa de aço, aumentadas por tinta de alcatrão impregnada no teto de madeira.
	Flyover over A406, Staples Corner	London, England	1992	Explosão de uma bomba, causando sérios danos em estradas e edifícios próximos - vandalismo.

Causas de natureza mista, fundamentalmente naturais e agravadas por ação humana

Infraescavação

A infraescavação é uma enorme ameaça para as estruturas das pontes. A erosão é induzida pela ação das ondas mas também é devida às fortes correntes dos rios. Entre os diferentes fatores que provocam a erosão estão as velocidades das correntes, os efeitos das ondas, as localizações das pontes e a constituição geológica dos solos

das fundações. Os 38 acidentes com alguma gravidade registados nos últimos 65 anos (TABELA XI) são suficientemente reveladores da necessidade de aprofundar o conhecimento daqueles fatores antes e durante a fase de projeto de uma ponte.

TABELA XI - Lista de acidentes em pontes devidos a infraescavação (1950-2017).

TABLE XI - Bridge failures due to bridge scour (1950-2017).

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
EUA	Interstate 29 West Bridge	Sioux City, IA	1962	Acidente por causa natural (infraescavação).
	Bridge near Charleston, SC	Cooper River, SC	1965	Acidente por causa natural (infraescavação), com falha num pilar.
	Interstate 17 Bridge	Black Canyon, AZ	1978	Acidente por causa natural (infraescavação).
	Schoharie Creek Bridge	Near Fort Hunter, NY	1987	Colapso de dois vãos da ponte por erosão localizada num pilar, devido a tempestade e aos caudais da enchente.
	Twin I-5 Bridges (Arroyo Pasajero River)	Coalinga, CA	1995	Erosão localizada nas fundações da ponte.
	Tennessee River Bridge	Clifton, TN	1995	Erosão localizada.
	Walnut Street Bridge (Susquehanna River)	Harrisburg, PA	1996	Erosão localizada e danos provocados por gelo.
	Hatchie River Bridge	Near Covington, TN	1999	Infraescavação e enfraquecimento das fundações.
	Interstate 20 bridge on Salt Draw River	Near Pecos, TX	2004	Erosão localizada provocada pelos caudais da enchente após dois dias de chuva intensa.
	Lee Roy Selmon Expressway	Tampa Bay, FL	2004	Erosão localizada desenvolvida em torno de um pilar, fazendo com que a ponte caísse.
	Rural Bridge (Beaver Dam Creek)	Near Shelby, NC	2004	Acidente por causa natural, por infraescavação devida a uma enchente, provocando a queda da ponte.
	I-10 Bridge	Southern California	2015	Deslocamento de um pilar devido ao meandro da corrente, provocando a erosão da fundação.
CANADÁ	Bridge over a river	British Columbia	1981	Destruição da ponte por infraescavação devida a inundação e restos de árvores transportados pelo caudal.
	CPR Bonnybrook Bridge	Calgary, Alberta	2013	Colapso parcial de um pilar devido a infraescavação provocada pela inundação do rio Bow.
ALEMANHA	Esslingen Bridge	Esslingen	1969	Colapso da ponte, devido a água que entrou no caixão da parede de fundação e a inundação durante a construção.
	Bridges in Germany	South and East Germany	2002	Infraescavações provocadas por inundações extensas.

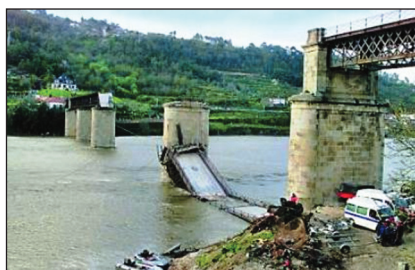
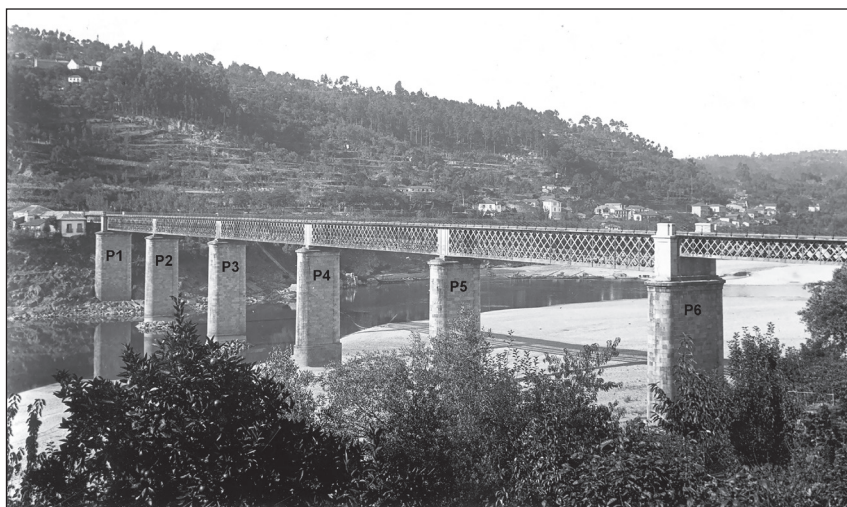
País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
INGLATERRA	Drimisallie Bridge	Inverness, Scotland	1973	Desmoronamento de uma extensão da ponte devido à erosão de um apoio provocada por uma inundação - infraescavação das fundações.
	Glanrhyd Railway Bridge over River Towy	Near Llandeilo, Wales	1987	Desmoronamento da ponte devido a uma enchente, tendo colapsado quando um comboio a atravessava.
	Multispan masonry arch Ness viaduct	Inverness, Scotland	1989	Destruição de vários compartimentos do arco de alvenaria da ponte devido a grandes inundações, logo após a passagem de um comboio de carga.
	Five-span bridge at Forteviot, (May River)	10 km south of Perth, Scotland	1993	Erosão do leito de cascalho a jusante de um pilar provocada por uma enchente, arrastando a proteção de betão e aumentando a erosão localizada.
	Railway Bridge RDG1 48 over the River Crane near Feltham	Feltham	2009	Erosão generalizada e infraescavação do leito do rio.
ÁUSTRIA	Motorway Bridge	Near Salzburg	1959	Infraescavação provocada por inundações.
	Two-span truss bridge over Traun River	Between Linz and Selzthal	1982	Queda de um pilar por erosão localizada e colapso parcial do tabuleiro da ponte.
	Five-span box girder motorway bridge over Inn River	Near Kufstein	1990	Assentamentos e grandes danos na superestrutura da ponte devido a infraescavação.
	Bridge in Braz	Braz, Vorarlberg	1995	Destruição da ponte ferroviária após um deslizamento de terras provocado por um comboio - infraescavação devida a inundações.
	Bridges in Austria	Various locations	2002	Inundações em Thurnberg, Engelstein, Salzburgo e outras cidades - infraescavação.
PORTUGAL	Hintze Ribeiro	Castelo de Paiva	2001	Colapso de um pilar devido a infraescavação e a extrações ilegais de areias - cedeu o vão central da ponte.
ÍNDIA	Bridge between Jabalpur and Gondia	Madhya Pradesh	1984	Infraescavação devida a enchente.
	Bridge (Nalgonda district)	Near Veligonda	2005	Rotura de dois reservatórios de água a montante dos apoios, levando o aterro e deixando os trilhos da linha pendurados no ar. Em consequência, um comboio descarrilou, mergulhando no rio.
	Railway bridge	India	2005	Destruição da ponte ferroviária, por inundação e infraescavação da fundação.
	Long span suspension bridge over river	Daman	2003	Elevada velocidade do escoamento - infraescavação.
CHINA	Two bridges	Central China	2002	Infraescavação devida ao caudal de inundação.
COREIA DO SUL	Bridge over river	Seoul	2004	Infraescavação da fundação.

País	Referência	Localização	Ano	Causa/Origem
AUSTRÁLIA	River bridge 40 km west of Charters Towers	Queensland	2005	Desabamento da ponte devido à intensidade da inundação.
CANADÁ	CPR Bonnybrook Bridge	Calgary, Alberta	2013	Colapso parcial devido a infraescavação provocada pelo caudal de inundação do rio Bow.
ITÁLIA	Himera Viaduct	Scillato, Sicily	2015	Deslocamento parcial de um pilar devido a um deslizamento de terras.
GRÉCIA	Plaka Bridge	Plaka-Raftaneon, Epirus	2015	Fundações erodidas por inundação das margens do rio.
	Provincial road Ksanthi-Iasmos at Kompatos river crossin	Eastern Macedonia and Thrace district	2017	Provavelmente devido à evolução da infraescavação e a uma inspeção deficiente.

Acidentes ocorridos em Portugal e possíveis medidas de mitigação

Ponte Hintze-Ribeiro, em Entre-os-Rios

Uma breve nota para o acidente mais grave ocorrido em Portugal devido à queda de uma ponte, em que pereceram 59 pessoas. Este acidente ocorreu em Entre-os-Rios, Penalva do Castelo, com a queda da ponte Hintze Ribeiro, devido a um conjunto de causas em que ação humana teve particular destaque. Esta ponte foi construída no final do século XIX, implantada numa curva do rio Douro, logo a jusante da confluência do rio Tâmega com o rio Douro. A secção da ponte situava-se no limite da albufeira de Crestuma-Lever, estando esta barragem localizada cerca de 15 km a jusante. A montante da secção da ponte foram construídas a barragem do Torrão, no rio Tâmega, e a barragem do Carrapatelo, no rio Douro. A fot. 15 superior mostra uma fotografia da ponte Hintze Ribeiro tirada no ano de 1931; inferiormente são mostradas duas fotografias da mesma ponte tiradas em 2001 após o grave acidente ocorrido na noite de 4 março desse ano.



Fot. 15 - Ponte Hintze Ribeiro em 1931 (superior), antes e após o acidente, em 2001
(Fonte: Adaptadas de Antunes do Carmo, 2017).

Photo 15 - Hintze Ribeiro bridge in 1931 (top), and before and after the accident (below), in 2001
(Source: Adapted from Antunes do Carmo, 2017).

Para apoio técnico do Tribunal de Castelo de Paiva na investigação das causas do colapso da Ponte Hintze Ribeiro em Entre-os-Rios foram nomeadas duas Comissões, as quais elaboraram e entregaram em 2004 os Relatórios com descrições detalhadas das causas que terão provocado aquele acidente. Um dos relatórios presta as seguintes informações: “*Os movimentos do fundo do rio Douro na área da Ponte Hintze Ribeiro deveram-se a duas causas preponderantes: i) extrações de areia, e ii) movimentos naturais do fundo aluvial, em função do caudal*”.

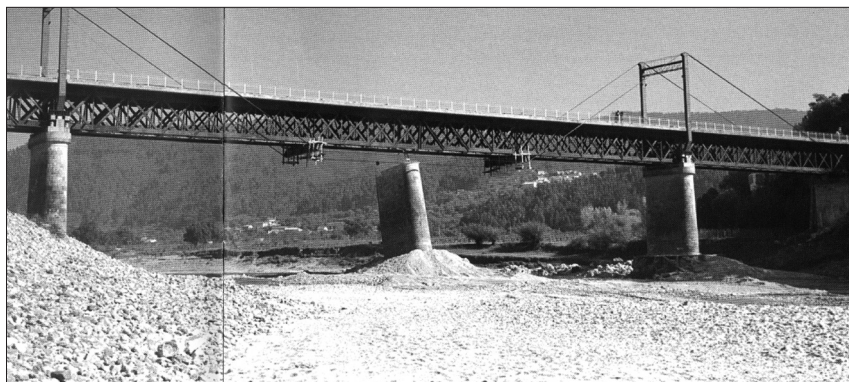
Este Relatório refere ainda: *“Em particular, deve salientar-se a necessidade de manter atualizados os levantamentos topo-hidrográficos do leito do rio, juntamente com as medidas de gestão que passem pelo monitoramento permanente e supervisão rigorosa”*; é reconhecido que tal não ocorreu. Este Relatório também mostra que *“A degradação do leito onde a ponte foi construída terá sido predominantemente devida a extrações de areia realizadas até cerca de 500 metros da ponte”*. No entanto, também salienta que as extrações de areia terão sido realizadas numa área muito maior, em particular a montante da ponte.

Em resumo, apurou-se que os efeitos combinados das extrações de areia em áreas não apropriadas e em quantidades muito acima do balanço natural do sistema fluvial nos últimos 25 anos antes do acidente (período de 1975-2000), e a erosão produzida por cinco cheias entre dezembro de 2000 e março de 2001 foram as principais causas deste acidente. Como mostra a fot. 15 superior, o colapso envolveu o pilar P4, sendo as designações P1 a P6 usadas para os pilares da ponte a partir da margem direita.

Ponte de Penacova, distrito de Coimbra

Um acidente ocorrido com a ponte de Penacova, a cerca de 20 km de Coimbra, não teve as repercussões económicas e sociais do acidente descrito acima, com a ponte Hintze-Ribeiro, mas foi igualmente devido a infraescavação. Neste caso, a infraescavação foi essencialmente devida a insuficiência de sedimentos para compensar os que se iam perdendo por ação erosiva do escoamento. A construção da ponte de Penacova teve início em 1883 com os pilares e os encontros e terminou em 1906 com a estrutura do tabuleiro. Para aumentar a capacidade de carga e o alargamento da plataforma, a ponte foi reforçada com uma terceira viga metálica em 1956. Não são conhecidos problemas nas fundações dos pilares até à construção das barragens da Agueira e da Raiva. Em maio de 1979, poucos anos após o início da construção da Agueira (1973), deu-se o assentamento do pilar central, deixando este de dar apoio ao tabuleiro (fot. 16). A construção das barragens da

Aguieira e da Raiva fez diminuir a quantidade de sedimentos afluentes, pois grande parte dos mesmos passou a ficar retida nas albufeiras. Deste modo, deixou de haver equilíbrio entre os sedimentos afluentes e a quantidade erodida por ação do escoamento em torno dos pilares. Em consequência, o fundo aluvionar foi sendo erodido até que a fundação do pilar central deixou de ter apoio e contraventamento suficientes para se manter.



Fot. 16 - Ponte de Penacova após o assentamento do pilar central, com o tabuleiro apenas apoiado nos dois pilares laterais e nos encontros (Fonte: EP, 2005).

Photo 16 - Penacova bridge after settlement of the central pillar, with the deck supported only on the two lateral pillars and abutments (Source: EP, 2005).

Entre as medidas de prevenção que devem ser realizadas para controlar os efeitos da infraescavação relevam-se (Rocha *et al.*, 2008; Khan, 2010):

- Inspeções subaquáticas com regularidade, de maneira a prevenir eventuais desgastes de pilares, possíveis deslizamentos ou assentamentos diferenciais.
- Observação das tendências dos movimentos do fundo durante largos períodos e depois de cheias intensas.
- Manutenção atualizada de levantamentos topo-hidrográficos dos leitos.
- Reposição dos materiais erodidos sempre que necessário.

Em conformidade com o levantamento de todos os acidentes em pontes com alguma gravidade registados no período de 1950 a 2017, podemos concluir que ocorreram com uma média de 3 a 4 acidentes por ano.

Contudo, importa notar que no levantamento efetuado não foram contabilizados incidentes ou acidentes em pontes indiretamente devidos a cheias/inundações (como por exemplo inoperacionalidade temporária), a cedências de pilares ou quedas de tabuleiros sem causas associadas, a causas desconhecidas ou com investigação em curso. Em linha com as mesmas referências, estes números apontarão para um acréscimo de acidentes com alguma gravidade na ordem de 20 a 25%.

Edifícios, túneis e obras costeiras

As falhas estruturais ou de partes das estruturas são frequentes em todo o mundo. Tendo em conta as muitas análises conhecidas, pode-se concluir que a maioria das falhas é causada por erro humano. Na generalidade dos estudos publicados um valor de oitenta a noventa por cento é correntemente mencionado. De acordo com Haan (2012) pode-se concluir que as ocorrências de falhas ou erros são da mesma ordem de magnitude para o projeto e para a construção, com frequência levemente mais elevadas para falhas atribuídas ao projeto.

Segundo Fröderberg (2014), os valores médios de estudos elaborados por vários investigadores indicam que aproximadamente 43% do número total de falhas está relacionado com o planeamento e o projeto da estrutura, 35% das falhas ocorrem na fase de construção, 15% estão relacionadas com o uso ou falta de manutenção apropriada e 7% estão relacionadas com outras causas. A TABELA XII indica os intervalos de variação destas percentagens incluindo na fase de uso/manutenção os 7% atribuídos a outras causas.

TABELA XII - Percentagens de erro atribuídas a diferentes fases de uma estrutura.

TABLE XII - Percentage of errors attributed to different life-cycle stages of a structure.

Fase em que ocorrem	Erros (%)
Planeamento e projeto.	40-50
Construção.	30-40
Uso/manutenção.	20-30

Contudo, relativamente às percentagens apresentadas nesta tabela, convém assinalar que um aspeto importante dos acidentes ou fracassos é que, em geral, podem ser identificadas múltiplas causas, a ocorrerem em diferentes fases, e que a remoção de alguma dessas causas permite com frequência atenuar a situação indesejada.

Consequências de falhas acidentais

As consequências de falhas estruturais (falhas causadas por uma ação acidental) manifestam-se normalmente de várias formas: fatalidades, lesões, danos estruturais, danos no conteúdo, perda de funcionalidade e danos ambientais. As consequências de falhas estruturais são normalmente divididas em duas categorias: consequências diretas e indiretas. Os tipos de consequências e se elas são consideradas consequências diretas ou indiretas depende dos limites do sistema. Estes devem ser definidos claramente no início de qualquer análise de consequências. Uma vez identificadas as consequências diretas e indiretas, os resultados obtidos devem ser usados para avaliar a robustez de uma estrutura. Em geral consideram-se (Janssens *et al.*, 2011):

- Consequências diretas as resultantes de estados de danos de componentes individuais. Geralmente, as consequências diretas limitam-se aos efeitos do dano imediato após a ocorrência de um acidente e estão relacionadas com a vulnerabilidade da estrutura.
- Consequências indiretas as relacionadas com a(s) perda(s) de funcionalidade(s) ou falha(s) do sistema, em resultado de uma falha local; estão relacionadas com a robustez da estrutura.

Simplificando, as consequências indiretas ocorrem como resultado de consequências diretas.

As consequências de falhas variam significativamente de estrutura para estrutura e podem depender de uma ampla gama de fatores, incluindo (Janssens *et al.*, 2011):

- Natureza do perigo;
- Propriedades da estrutura;

- Uso/ocupação;
- Localização;
- Condições meteorológicas;
- Prazo durante o qual as consequências são avaliadas;
- Âmbito das consequências consideradas (num contexto socioeconómico).

Como resultado, o “custo de um fracasso” é uma quantidade multidimensional e altamente variável, fato que é reiterado em toda a literatura sobre o tema.

O papel dos profissionais da construção civil

O papel dos técnicos ligados à construção civil (arquiteto, engenheiro e outros) é responder a uma necessidade construindo ou criando algo que realize uma determinada função segundo um determinado conjunto de diretrizes (ou especificações). Esse dispositivo, plano ou criação deve executar a sua função sem falhar.

No entanto, tudo pode eventualmente falhar (de alguma forma) na execução da sua função em conformidade com o nível de desempenho pretendido. Assim, o profissional deve esforçar-se por projetar de modo a evitar falhas e, mais importante, falhas catastróficas que resultem em perdas de propriedades, danos no ambiente e, possivelmente, lesões ou perdas de vidas humanas. Através de análises e estudos de “desastres de engenharia”, os projetistas podem aprender o que não devem fazer e como criar projetos com menos probabilidade de falha (EDLF, 2018).

Neste contexto, importa clarificar o que faz uma falha ou fracasso ser considerado um “desastre de engenharia”. Grande parte do motivo pelo qual se considera uma falha de engenharia como um “desastre de engenharia” tem a ver com a percepção pública do risco. Por exemplo, em 1992, ocorreu aproximadamente o mesmo número de mortes (nos Estados Unidos) em acidentes de transporte envolvendo aviões (775), comboios (755) e bicicletas (722) (EDLF, 2018).

No entanto, a percepção pública do risco associado às viagens aéreas é geralmente muito maior do que a associada aos comboios e, certamente, às bicicletas. Isso decorre de duas razões: (1) o número significativo de perdas de vidas (e a reportagem

generalizada de notícias associadas) resultante de um único acidente aéreo; e (2) a falta de controlo do passageiro aéreo sobre o seu ambiente no caso do ar ou, em menor grau, nos acidentes ferroviários. Ambas as razões resultam em aumento do medo e, portanto, um maior grau de risco percebido.

A engenharia civil é um campo que não tem muito espaço para erros/fracassos. No entanto, apesar dos melhores esforços de todos os profissionais envolvidos, esses erros podem acontecer e custam frequentemente milhões de euros em danos colaterais. Embora tais fracassos possam ser desmotivadores para alguns, os mesmos acabam por inspirar outros a reparar/evitar os erros que ocorreram no passado. O fracasso é assim algo que em geral os profissionais da construção civil podem esperar e para o qual devem estar preparados, porque o fracasso promove o avanço da tecnologia e inspira as pessoas a melhorarem os seus comportamentos, a tornarem-se mais capazes.

Acidentes históricos em edifícios

Descrevem-se em seguida alguns acidentes históricos de grande impacto económico e social que foram direta ou indiretamente causados por ação humana (BOED, 2018).

Armazéns do departamento Sampoong, Seul, Coreia do Sul

Em 29 de junho de 1995, no espaço de 20 segundos, os armazéns do departamento Sampoong, em Seul, Coreia do Sul, ruíram, vitimando 502 pessoas e ferindo 937. Segundo BOED (2018), a negligência criminosa, o desrespeito flagrante pelas práticas éticas da engenharia e a construção de má qualidade levaram ao maior desastre em tempo de paz na história sul-coreana (fot. 17). Este foi o pior acidente em edifícios modernos até à catástrofe de 11 de setembro, em Nova Iorque, e o mais letal dos acidentes não deliberados em prédios até ao colapso do edifício Savar em maio de 2013, perto de Dhaka, Bangladesh, como se descreve mais abaixo.



Fot. 17 - Armazéns do departamento Sampoong, Seul, Coreia do Sul.

Photo 17 - Sampoong Department Store warehouses, Seoul, South Korea.

Complexo ribeirinho Lotus, Xanghai, China

Em 27 de junho de 2009, o Bloco 7 de um dos 11 prédios de apartamentos de 13 andares que compõem o complexo “Lotus Riverside” em Xangai, tombou completamente intacto. De acordo com BOED (2018), este arranha-céus ainda estava em construção e, felizmente, a maioria dos trabalhadores conseguiu evacuar o prédio quando perceberam que ele começava a tombar (fot. 18).

Edifício Deli, em Nova Deli, Índia

Em 15 de novembro de 2010, as intensas chuvas de monção e um rio a transbordar provaram ser demais para um edifício habitacional mal construído em



Fot. 18 - Colapso de um bloco do complexo ribeirinho Lotus Riverside, Xangai, China.

Photo 18 - Collapse of block in Lotus Riverside complex, Shanghai, China.

Nova Deli, na Índia. Tragicamente, morreram no colapso deste edifício (fot. 19) 67 pessoas e outras 150 ficaram feridas (BOED, 2018).

Mais recentemente, em 2013, verificaram-se dois graves acidentes na Índia e no Bangladesh que justificam uma menção especial, em particular o segundo acidente, considerado “*o mais mortal fracasso estrutural da moderna história humana*”.

Edifício Thane, Índia

Em 4 de abril de 2013, um prédio desmoronou em Mumbra, um subúrbio de Thane, em Maharashtra, na Índia. Foi considerado o pior colapso de construção na área. Setenta e quatro pessoas morreram, incluindo 18 crianças, 23 mulheres e 33 homens, enquanto mais de 100 pessoas conseguiram sobreviver. O prédio estava em construção e não possuía certificado de ocupação para os seus 100 a 150



Fot. 19 - Colapso de um edifício em Nova Deli, Índia.

Photo 19 - Collapse of a building in New Delhi, India.

moradores de “baixa e média renda”. Os habitantes do prédio eram trabalhadores da construção civil e suas famílias. Constatou-se que o edifício foi construído ilegalmente, não obedecendo às boas práticas da engenharia e não seguindo a construção padrão, sem aquisição dos terrenos e com ocupação dos espaços residenciais (https://en.wikipedia.org/wiki/2013_Thane_building_collapse).

Edifício Savar, Bangladesh

O colapso do edifício Savar (ou Rana Plaza) ocorreu em maio de 2013. Devido a uma falha estrutural que ocorreu em 24 de abril de 2013 no Savar Upazila do distrito de Dhaka, Bangladesh, um prédio comercial de cinco andares chamado Rana Plaza entrou em colapso. Em 13 de maio de 2013 foram contabilizadas 1134 mortes. Aproximadamente 2500 pessoas

feridas foram resgatadas do prédio ainda com vida. É considerado o pior acidente de fábricas de roupas da história, bem como o mais mortal fracasso acidente estrutural da moderna história humana (https://en.wikipedia.org/wiki/2013_Savar_building_collapse).

Torres gémeas, Nova Iorque, EUA

Poder-se-iam descrever muitos outros acidentes provocados por causas deliberadas decorrentes da ação humana, como sejam incêndios e atos de guerra. Estas ocorrências interessarão para efeitos de alerta, sensibilização pública e proteção civil, mas fogem ou são marginais à estatística com interesse técnico para ensinamentos futuros no âmbito da engenharia/construção civil. As causas e as consequências, os prejuízos materiais e a degradação social a que estes atos conduzem são amplamente conhecidos. Basta termos presentes os atos de guerra praticados em alguns países, especialmente do médio oriente, e os incêndios ocorridos em Portugal no ano de 2017.

Pela dimensão que teve e pelo choque, revolta e preocupação pública que na altura motivou, dedico apenas uma nota breve ao acidente ocorrido em 11 de novembro de 2001 com as ex-torres gémeas em Nova Iorque, EUA. Este foi até à data o colapso mais devastador de edifícios. E no entanto estes edifícios foram magistralmente projetados, usando aço leve, um núcleo central e uma estrutura “redundante”, isto é, se uma peça de suporte (pilar ou viga) falhasse, outra tomaria o seu lugar. Além disso, estes edifícios foram projetados para suportar cargas laterais bastante acima do normal, ou seja, com um elevado coeficiente de segurança. O que o projeto não previu foi a quantidade de combustível derramado sobre os edifícios e os incêndios que se seguiram. Apesar disso, o fogo em si não derreteu as colunas de aço que seguravam os edifícios; apenas os enfraqueceu. A nuvem de fumo negro que se gerou e pairou por muito tempo sobre a cidade de Nova Iorque (fot. 20) foi algo que as nossas mentes dificilmente apagarão.



Fot. 20 - Enormes quantidades de poeira resultantes do colapso das torres gêmeas, Nova Iorque, EUA (Photo Rex Shutterstock) (<https://www.newscientist.com/article/2105581-deaths-from-911-related-illness-are-set-to-exceed-initial-toll/>).

Photo 20 - Enormous amounts of dust resulting from the twin towers collapse, New York, USA (Photo Rex Shutterstock) (<https://www.newscientist.com/article/2105581-deaths-from-911-related-illness-are-set-to-exceed-initial-toll/>).

Acidentes em túneis e obras subterrâneas

Os acidentes ocorridos em fase de abertura ou construção de túneis e obras subterrâneas, sejam eles rodoviários ou urbanos, são relativamente comuns e têm registado aumentos significativos nos últimos 15-20 anos. Vários fatores têm sido apontados na literatura técnica como contribuintes para esse recente aumento do número de acidentes com túneis; são particularmente relevantes:

- Aumento significativo de obras subterrâneas em todo o mundo;
- Utilização de pessoal não capacitado nem adequadamente treinado;
- Confiança excessiva em alguns métodos construtivos, ou em certos ambientes;
- Eventos de perigo (ameaças) não adequadamente identificados, geridos e controlados;
- Tendência de contratos por preço global, sem os devidos controlo e gestão;

- Condições contratuais unilaterais e cronogramas apertados;
- Elevada competição e baixos orçamentos financeiros.

Os custos de acidentes em túneis e obras subterrâneas são elevados, como a TABELA XIII comprova. Outros acidentes ocorreram no mesmo período (2000-2010), mas estes foram os que tiveram maiores impactos sociais e económicos nos países em questão.

TABELA XIII - Principais colapsos em túneis e obras subterrâneas no período de 2000 a 2010.

TABLE XIII - Major collapses in tunnels and underground works from 2000 to 2010.

Ano	Infraestrutura	País	Causa	Custo (€)
2000	Taegu Metro	Coreia do Sul	Colapso.	13 milhões.
2000	TAV Bologne-Florence	Itália	Colapso.	5 milhões.
2002	Taiwan High Speed Railway	Taiwan	Colapso.	11 milhões.
2002	SOCATOP Parts	França	Colapso.	8 milhões.
2003	Shanghai Metro	China	Colapso.	69 milhões.
2004	Singapore Metro	Singapura	Colapso.	60 milhões.
2005	Barcelona Metro	Espanha	Colapso.	15,5 milhões.
2005	Lausanne Metro	Suíça	Colapso.	10,5 milhões.
2005	Lane Cove Tunnel	Austrália	Colapso.	16 milhões.
2006	Kaohsiung Metro	Taiwan	Colapso.	7,7 milhões.
2006	Metro de São Paulo	Brasil	Colapso.	91,5 milhões.
2008	Stromovka Tunnel Prague	República Checa	Colapso.	10 milhões.
2008	Hangzhou Metro	China	Colapso.	Indeterminado.
2008	Guangzou Metro	China	Colapso.	Indeterminado.
2008	Circle Line 4 Singapore	Singapura	Colapso.	Indeterminado.
2009	Metro Cologne	Alemanha	Colapso.	305 milhões.
2010	Cairo Metro	Egito	Colapso.	20 milhões.
2010	Blanka Tunnel Prague	República Checa	Colapso.	1 milhão.
2010	Lake Mead Tunnel	EUA	Inundação.	10,6 milhões.

Fonte/Source: Gomes, 2012.

Na sua dissertação de mestrado, Seidenfuss (2006) apresentou estatísticas sobre 110 acidentes em túneis no mundo (dados sobre a data, nome do empreendimento, localização, método construtivo utilizado, condições do maciço, tipo de colapso, causas e consequências), ocorridos nos últimos 70 anos. Nesta estatística são identificadas as seguintes principais causas de acidente:

- Condições geológicas não previstas (diferente de não previsíveis).
- Erros de concepção do projeto, de cálculos e dimensionamentos, e de decisão de engenharia (concepção estrutural, especificações técnicas e de controlo deficientes, parâmetros, modelos constitutivos, hipóteses e tipos de simulação inadequados, etc.).
- Erros de construção (qualidade e quantidade dos materiais empregados, meios e métodos inadequados, violações do projeto, etc.).
- Erros de gestão do projeto e dos riscos, inclusive de controlo da qualidade, comunicação e organização.
- Interrupções de obras.

De entre os diferentes tipos de acidentes envolvendo túneis e obras subterrâneas em geral (abertura/construção, ampliação, reforço, etc.), destacam-se nas figuras seguintes (fots. 21 a 24) algumas das ocorrências com maior impacto económico verificadas no presente século.



Fot. 21 - Colapso durante a construção do metro de Xangai, 2003 (Fonte: Gomes, 2012).

Photo 21 - Collapse during construction of the Shanghai metro, 2003 (Source: Gomes, 2012).



Fot. 22 - Engenheiro observando os efeitos do desabamento de um túnel urbano (Fonte: Guilart, 2007).

Photo 22 - Engineer looking at the effects of the collapse of an urban tunnel (Source: Guilart, 2007).



Fot. 23 - Colapso no metro de Singapura, 2004, que levou à abertura de um buraco com 30 m na via Nicoll, adjacente ao túnel (Fonte: Gomes, 2012).

Photo 23 - Singapore underground collapse, 2004, which created a 30 m hole on Nicoll Highway, adjacent to the tunnel (Source: Gomes, 2012).



Fot. 24 - Resultado de um colapso na abóbada de um túnel durante a escavação (Fonte: Gomes, 2012).

Photo 24 - Result of collapse in a tunnel vault during excavation (Source: Gomes, 2012).

Acidentes em obras costeiras

Construção e recente prolongamento dos molhes de proteção dos portos de Aveiro e Figueira da Foz

Entre os muitos incidentes e alguns acidentes ocorridos em obras costeiras, frequentemente conduzindo a perdas de território e colocando em perigo áreas habitacionais mais expostas, destacam-se a construção de molhes para proteção de portos e a instalação de esporões e quebra-mares como medidas de recurso, sem fundadas análises de impactos e consequências.

A construção e recente prolongamento dos molhes dos portos de Aveiro e Figueira da Foz são exemplos de profundas alterações provocadas a sul destes portos.

Com efeito, como mostra a fot. 25, os molhes impedem a progressão natural das areias para sul, deixando de alimentar estas zonas e assim compensar as areias perdidas por diversos fatores naturais, de que se destacam a dinâmica litoral e o vento. Em consequência, ocorrem erosões e perdas de território, colocando em perigo zonas residenciais, como são os casos da Vagueira, Praia de Mira e Tocha, a sul de Aveiro, e da Gala, Lavos e Leirosa, a sul da Figueira da Foz.

Uma situação ainda mais grave ocorreu em outubro de 2015 à entrada dos molhes do porto da Figueira da Foz, com a atual configuração. Por dificuldades de manobra de um arrastão (Olivia Ribau) na passagem de uma barra de sedimentos que se forma junto à cabeça do molhe norte resultou num acidente que vitimou 5 pescadores.



Fot. 25 - Molhes de proteção do porto e atuais configurações das praias da Figueira da Foz e da Gala. A linha azul identifica a posição aproximada da linha de costa (limites das praias) nos anos 60 do século passado, antes da construção dos molhes
(Fonte: adaptada de Antunes do Carmo, 2018).

***Photo 25** - Protective breakwaters of the port and present layout of Figueira da Foz and Gala beaches. The blue line shows the approximate position of the coastline (boundaries of the beaches) in the 1960s, before the breakwaters were built
(Source: adapted from Antunes do Carmo, 2018).*

Piscicultura construída nas dunas de Mira, Portugal

Uma referência final para o acidente ocorrido na costa Portuguesa com uma piscicultura implantada nas dunas de Mira. Esta piscicultura era gerida pela ACUINOVA, uma empresa do grupo Pescanova. Um acidente ocorrido em 2011 teve um impacto económico muito elevado. A piscicultura era constituída por dois setores alimentados de água do mar por emissários que faziam chegar a água por gravidade a um poço localizado em terra, sendo em seguida bombeada deste poço para os tanques de engorda do pescado.

Em 26 de outubro de 2011 ocorreu uma rotura parcial da caixa de um dos emissários que estabelecia a transição entre dois tubos PEAD em paralelo, com 1300 m de comprimento e 2 m de diâmetro, e uma conduta em betão com 3 m de diâmetro e cerca de 1500 m de comprimento. Foram igualmente detetadas roturas das condutas junto à caixa de transição. Este acidente inviabilizou a operacionalidade da instalação, tendo a análise das causas de rotura e a atribuição de responsabilidades transitado para tribunal, estando ainda em fase de julgamento.

Os estudos técnicos entretanto desenvolvidos permitiram identificar possíveis erros de projeto e deficiências construtivas. Aparentemente, a nível de projeto, não terão sido levados em devida conta os esforços resultantes das possíveis condições do temporal que se fazia sentir naquele dia, nomeadamente ondas com cerca de 7 m de altura no local do acidente.

Conclusões

As ocorrências periódicas de eventos catastróficos envolvendo perdas de vidas humanas lembram as pessoas que a noção de risco zero (segurança totalmente garantida) não existe.

Contudo, na generalidade dos casos, as catástrofes técnicas ocorridas em estruturas de construção civil não são aceites pela Sociedade. A reação da Sociedade,

que é amplamente apoiada e amplificada pela comunicação social por razões económicas óbvias, é tentar encontrar e punir as pessoas consideradas responsáveis, geralmente engenheiros (Delage, 2003).

Esta posição é obviamente aceitável quando a catástrofe é devida a erro humano, negligência, falta de manutenção ou gestão inadequada. No entanto, uma catástrofe pode ocorrer, ou ser agravada, por fenómenos desconhecidos, imprevisíveis e não controláveis, por causas naturais ou de natureza técnica. Em geral, uma ocorrência deste tipo também não é admitida.

Os consideráveis progressos científicos e técnicos realizados desde a revolução industrial proporcionam um sentimento artificial de segurança nas sociedades ocidentais. Isso é um pouco contraditório no sentido em que qualquer novo progresso científico e técnico envolve o confronto com novos desafios e, portanto, novos riscos (Delage, 2003).

A falsa sensação de segurança resulta da forma como se exploram os benefícios de um empreendimento e se mitigam os cuidados ou aspetos menos favoráveis. É assim que os residentes e potenciais investidores assumem que a construção de uma barragem permite a ocupação do vale a jusante. Assumem igualmente que com a construção da barragem terminam as grandes enchentes que no passado tudo arrastavam, passando a existir uma albufeira com água em quantidade e qualidade suficientes para satisfazer todas as necessidades. Ou seja, assume-se que o controlo é absoluto; mas será mesmo assim?

Uma ponte muito longa e esbelta é, em geral, bem aceite e motivo de orgulho. Naturalmente que essa “grandeza” não constitui, em geral, motivo suficiente para deixar de a utilizar. Bem pelo contrário, a sociedade confia plenamente no projeto e nos processos construtivos. Entender-se-á que não há risco; mas será mesmo assim?

O edifício mostrado na fot. 1b) foi construído para permitir uma visão mais ampla sobre a marina do Dubai. É um hotel de luxo, com preços pouco convidativos, mas muito procurado.

Evidentemente que neste contexto, pernoitar no ‘Burj Khalifa’ (fot. 1a) é um privilégio reservado a muito poucos. Mas será o risco que preocupa ou impede os potenciais privilegiados de usufruírem da paisagem que este monumento proporciona? É óbvio que não, mas o risco existe. Poder-se-á argumentar que é

pequeno, mas será menor que o risco de colapso das torres gémeas em Nova Iorque? Estas torres foram construídas recorrendo às mais avançadas tecnologias e usando os melhores materiais, para além de seguranças construtivas reforçadas, como descrito na secção "Torres gémeas, Nova Iorque, EUA".

A noção de risco e a sua assunção mudaram muito nas últimas três décadas. A barragem da Aguieira, situada a 40 quilómetros de Coimbra, é um claro exemplo dessa mudança. Na altura da sua construção, anos 70 do século passado, a questão do risco nem se colocava. Naquela altura não se realizavam estudos de impacto ambiental, não se desenvolviam planos de risco e não se elaboravam mapas de inundação para as possíveis ocorrências (cenários), em particular de possível rutura da barragem. Naquela altura eram só benefícios, a regularização de caudais estava assegurada, as terríveis cheias no Baixo-Mondego tinham terminado, poder-se-ia ocupar e explorar com segurança as potencialidades do vale a jusante, a produção de energia eléctrica era um enorme potencial e a reserva de água para consumo humano e rega representava uma mais-valia adicional. No entanto, como se descreve na secção da "Barragem da Aguieira", as cheias ocorridas em 2001 e 2016 fizeram perceber que o risco não é suficientemente baixo ao ponto de ser possível pactuar com desvios das condições de projeto, descuidar a manutenção, facilitar as regras de operação e desvalorizar uma gestão rigorosa. Provavelmente hoje a barragem da Aguieira não seria construída.

Neste processo, os técnicos envolvidos (arquitetos, engenheiros, geólogos e outros) fazem o melhor que podem para garantir o mais baixo risco possível. Contudo, as dificuldades do exercício são muitas e elevadas. Evidentemente que os técnicos não são infalíveis e podem errar nas análises que fazem. Isso pode afetar o projeto inicial e também as medidas corretivas relevantes que devem ser tomadas durante a construção, quando um problema aparece. As descrições dos eventos acidentais ocorridos com barragens, pontes, edificações e túneis no período de 1950 a 2017 mostram que:

- Uma estrutura deverá resistir aos valores máximos das solicitações para que foi dimensionada. Porém, não só os valores máximos das solicitações consideradas poderão ser ultrapassados como muitos imponderáveis poderão ocorrer durante o período de vida da estrutura.

- No dimensionamento de uma estrutura são tidas em conta as propriedades resistentes dos materiais (aço, alvenaria, betão, solo, rocha). No entanto, mesmo fazendo ensaios, não pode ser garantida a homogeneidade dessas propriedades.
- A questão das fundações é particularmente delicada. Com efeito, o solo e as rochas têm resistência máxima admissível, mas esta é muito variável e pode falhar se forem aplicadas forças superiores, podendo ocorrer, por exemplo, assentamentos diferenciais.
- Em fase de operação, as disposições de manutenção poderão ser alteradas pela ocorrência de novos fenómenos mecânicos, físicos ou químicos agressivos que podem ameaçar, deteriorar ou mesmo condenar a estrutura.

Uma nota final sobre o risco. Tenho ainda presente a altura em que participei na elaboração dos primeiros mapas de inundação resultantes de um possível cenário de rotura da barragem da Aguieira. Nessa altura, início dos anos 90, há pouco mais de 25 anos, tudo teria que permanecer em segredo. Naquela altura, os resultados de tais estudos não podiam ser revelados, nem mesmo podia ser revelado que tais estudos estavam a ser realizados. Como tudo mudou, e bem, em 25 anos...

Referências bibliográficas

- Almeida, A. B. (1999). Dam Risk Management at Downstream Valleys. The Portuguese NATO Integrated Project. *Proceedings of the 3rd CADAM Workshop*, Milan, maio. Editores: Guido Testa, Mark Morris & Karen Fabbri.
- Almeida, A. B. (2006). *Emergências e gestão do risco*, Curso de Segurança e Exploração de Barragens, INAG ed., Lisboa, 7.1-7.110.
- Antunes do Carmo, J. S. (2010). Guidelines and tools to prevent risks in valleys downstream of dam-reservoir systems: A review (chapter), in book "*Risk Analysis VII & Brownfields V*", 137-148 (*peer review*). C. Brebbia (Editor), Transactions on Information and Communication Technologies 43 PI, WITPRESS Publisher, doi: 10.2495/RISK100131.
- Antunes do Carmo, J. S. (2013a). Grandes Barragens: Vulnerabilidades e Riscos (capítulo), no livro "*Riscos naturais, antrópicos e mistos. Homenagem ao Professor Doutor Fernando Rebelo*", 21 páginas, 441-461 (*peer review*). Luciano Fernandes Lourenço & Manuel Alberto Mateus (Editores), Departamento de Geografia, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra. ISBN: 978-989-96810-1-9.

- Antunes do Carmo, J. S. (2013b). Guidelines and tools to properly design and manage reservoir-dam systems (chapter), in the book “*Dams: Structure, Performance and Safety Management*”, 39 pages, 81-119 (peer review). Slaheddine Khelifi (Editor), Nova Science Publishers, Inc. NY, USA. ISBN: 978-1-62417-702-6.
- Antunes do Carmo, J. S. (2017). Natural responses to changes in morphodynamic processes caused by human action in watercourses: A contribution to support management. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Elsevier, Volume 24, 109-118, doi: 10.1016/j.ijdrr.2017.05.014.
- Antunes do Carmo, J. S. (2018). Coastal Defences and Engineering Works. Capítulo do livro “*Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Life Below Water*”, Springer International Publishing (em revisão).
- BOED (2018). Best Online Engineering Degree: The 10 Worst High-Rise Building Collapses in History (<https://www.bestonlineengineeringdegree.com/the-10-worst-high-rise-building-collapses-in-history/>).
- Bruneau, M. (1998). Performance of steel bridges during the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe, Japan) earthquake - a North American perspective. *Engineering Structures*, Vol. 20, No. 12, 1063–1078.
- BSG (2009). Appendix 3: Documentation of new cases, dam breaks. Situ Gintung dam failure, Jakarta, Indonésia (<https://dataverse.nl/api/access/datafile/2874>).
- CIGB (2017). Comissão Internacional das Grandes Barragens (http://www.icold-cigb.net/GB/world_register/general_synthesis.asp).
- DAMFAIL (2018). Wikipedia: Dam failure. List of major dam failures (https://en.wikipedia.org/wiki/Dam_failure#List_of_major_dam_failures).
- Delage, P. (2003). Risk in Civil Engineering : from natural to man-made hazards. *France-Stanford Conference on “Risk issues in contemporary science and engineering”*. Stanford, 4-6 April 2003.
- EDLF (2018). Engineering Disasters and Learning from Failure (<http://www.matscieng.sunysb.edu/disaster/>).
- Encyclopædia Britannica (2018). Three Gorges dam, The Editors of Encyclopædia Britannica (<https://www.britannica.com/topic/Three-Gorges-Dam>).
- Environmental Justice Atlas (2018). Bañqiao dam failure in 1975, Henan, China (<https://ejatlas.org/conflict/baquoio-dam-failure-henan-china>).
- EP (2005). *Ponte de Penacova sobre o rio Mondego: Substituição do tabuleiro, consolidação, reforço e beneficiação dos encontros e pilares*. EP - Estradas de Portugal.
- Fröderberg, M. (2014). *The human factor in structural engineering: A source of uncertainty and reduced structural safety*. Tese de doutoramento, Universidade de Lund, Suécia. ISBN 978-91-979543-9-6.
- Gomes, D. A. P. (2012). *Gestão de riscos na construção de túneis e obras subterrâneas*. Dissertação para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na Área de Especialização em Estruturas, Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- Guilart, M. H. (2007). *Metodologia para a Interpretação do Monitoramento de Escavações Subterrâneas*, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2007.
- Haan, J. (2012). *Human Error in Structural Engineering: The design of a Human Reliability Assessment method for Structural Engineering*. Delft, Technical University Delft.

- ICOLD (2017). International Commission On Large Dams (http://www.icold-cigb.net/GB/world_register/general_synthesis.asp).
- INRH (2016). *Guia prático - Inspeção Expedida do Estado e Segurança de Barragens e Albufeiras*. Instituto Nacional de Recursos Hídricos, Angola.
- Janssens, V., Dermot, W. O. D. e Chryssanthopoulos, M. K. (2011). Building Failure Consequences. Robustness of Structures, *Proceedings of the Final Conference of COST Action TU0601*, Prague, Czech Republic.
- Khan, M. A. (2010). *Bridge and Highway: Structure Rehabilitation and Repair*. ISBN: 978-0-07-154591-4.
- LBF (2018). Wikipedia: List of bridge failures, 1950-1990 e 2000-present (https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_bridge_failures).
- Miranda, J. M. S. M. (2014). *Segurança Hidráulico-Operacional das Barragens Integradas nos Grandes Aproveitamentos Hidroelétricos Portugueses*. Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Construções, FEUP.
- Pimenta, L. (2008). *Abordagens de riscos em barragens de aterro*, Tese de doutoramento, IST, Lisboa, 1- 534.
- Pinto, A. V. (2008). Gestão de Riscos e Segurança de Barragens. *3º Simpósio de Segurança de Barragens e Riscos Associados*, Novembro de 2008, LNEC, Portugal.
- Pinto, A.V. e Faria, R. (2001). Incidentes, acidentes e rupturas em barragens. *In Curso de Exploração e Segurança de Barragens*, Instituto da Água, Lisboa.
- Rocha, J. S., Antunes do Carmo, J. S., Lemos, L. J. L., Silva, V. D. e Rebelo, C. A. S. (2008). Pontes construídas sobre fundos aluvionares. O colapso da ponte Hintze Ribeiro. *Revista Recursos Hídricos*, Volume 29, Número 2, 41-57. ISSN 0870-1741.
- RSB (2007). Regulamento de Segurança de Barragens. Decreto-Lei nº 344/2007, de 15 de outubro.
- RSB (2018). Regulamento de Segurança de Barragens. Decreto-Lei nº 21/2018, de 28 de março.
- Seidenfuss, T. (2006). *Collapses in tunnelling*. Master Thesis. École Polytechnique Federale de Lausanne-EPFL, Lausanne, Suisse, 175 p.
- SGITU (2018). Wikipedia: Situ Gintung (https://en.wikipedia.org/wiki/Situ_Gintung).
- Viseu, T. (2006). *Segurança dos vales a jusante de barragens. Metodologias de apoio à gestão do risco*, Tese de doutoramento, IST, Lisboa, 1- 377.
- Viseu, T. e Almeida, A. B. (2011). Gestão do risco nos vales a jusante de barragens. *Territorium*, 18, 33-42, Riscos, ISBN: 0872-8941.
- WHO (2018). World Health Organization: Humanitarian Health Action. Collapsed Dam of Situ Gintung (http://www.who.int/hac/crises/idn/sitreps/situ_gintung_30march2009/en/).
- Wu, S. Y., Cao, W. e Zheng, J. (2016). Analysis of working behavior of Jinping-I Arch Dam during initial impoundment. *Water Science and Engineering*, Volume 9, Issue 3, 240-248, doi: 10.1016/j.wse.2016.11.001.