

O RISCO E A SUSTENTABILIDADE

Risk and Sustainability

Laura Caldeira

Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal, laurac@lnec.pt

Resumo: Na presente comunicação identificam-se os principais desafios da Sociedade actual, com incidência na engenharia civil, em geral, e na engenharia geotécnica, em particular, com vista a um desenvolvimento social sustentável e estabelecem-se as suas relações com a gestão do risco. Ressalta-se a relação estreita que se deverá promover entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade. Contextualiza-se o papel institucional das organizações em termos de gestão de risco e discute-se o papel dos Donos de Obra neste âmbito. Descrevem-se, sumariamente, os modelos de gestão do risco e estudam-se alguns métodos de investigação de acidentes. A ocorrência de grandes acidentes parece ser inevitável. As consequências destes grandes acidentes não são, em geral, aceitáveis pela nossa sociedade, devendo ser investigados de modo a evitar a sua ocorrência (ensinamentos organizacionais) num contexto de gestão de risco.

Abstract: In the present communication the main challenges to our Society are identified, with incidence in civil engineering, in general, and in geotechnical engineering, in particular, aiming a sustainable social development. Its relation to risk management is established. It is point out the strict relation that should be promoted between Science, Technology and Society. The institutional role of the organization in terms of risk management is contextualized and Owners role is discussed in this scope. The risk management models are summarily described and some accident investigation methods are studied. The occurrence of large accidents seems to be inevitable. Their consequences are not, in general, acceptable by Society and shell be investigated to avoid their occurrence (organizational learning) in a risk management framework.

1 INTRODUÇÃO

A sustentabilidade implica a procura no presente de benefícios para as pessoas e para o ambiente, sem afectar a possibilidade das gerações futuras suprimirem as suas necessidades.

A gestão sustentável refere-se à capacidade para dirigir o curso de uma empresa, de uma comunidade ou de um país, adoptando vias equilibradas que os valorizam em termos económicos, financeiros, sociais e ambientais. Trata-se, pois, de um processo contínuo e evolutivo de trabalho e de gestão.

A combinação de uma população mundial crescente com a tendência humana para encarar as necessidades de infra-estruturas (de transportes, de abastecimento de água e energéticas) e os problemas ambientais apenas quando estes atingem significativas proporções e não podem ser ignorados, torna essencial, de um modo crescente, a adopção de processos e procedimentos que tenham em conta uma visão de longo prazo.

O crescimento da população gera a apropriação de mais ambiente natural para o seu uso, a procura de mais água e de mais energia, a produção de mais resíduos e de maior poluição, o agravamento das necessidades de transporte e o aumento da sua exposição a perigos naturais.

Entre os desafios básicos actuais da nossa sociedade (Clough, 2000), incluem-se o provimento de habitação para uma população em expansão, o tratamento de infra-estruturas urbanas decadentes, a exploração de novas fontes de água e de energia, a previsão, a minimização e a recuperação dos efeitos dos desastres naturais e das alterações climáticas, o transporte de cada vez mais pessoas e de bens, de uma forma segura e eficiente, e a conservação ou a recuperação do ambiente, que abrange, designadamente, a qualidade do ar e da água e a gestão de resíduos.

Se se pensar que cerca de 10% de tudo o que é extraído do planeta constitui um produto útil e que o restante é resíduo, torna-se urgente uma gestão que leve a um consumo sustentável, mediante a minimização da exploração de recursos naturais e da geração e utilização de materiais tóxicos.

Com as fontes de água potável a serem exploradas mais rapidamente do que são renovadas, verifica-se que um crescente número de rios estão a secar, o que levará a que um grande número de pessoas irá viver em locais onde as fontes de água potável descerão abaixo dos níveis de sustentabilidade.

Adicionalmente, algumas cidades vêm sucumbindo a um crescente problema de lixo e, com as configurações de urbanismo adoptadas, tem-se produzido um agravamento do emaranhamento de trânsito e, conseqüentemente, um aumento da poluição do ar.

Nas últimas décadas tem-se assistido a uma migração global da população para as zonas costeiras, que apresentam elevada susceptibilidade a desastres naturais (tempestades, cheias, secas, fogos e alterações climáticas), ameaçando as estruturas, mas também as infra-estruturas de transportes e as redes de serviços, e produzindo um aumento significativo do potencial de expansão das perdas económicas. Verifica-se, complementarmente, que parte das perdas materiais é o resultado da construção em terrenos de elevado risco.

Os problemas apresentados requerem novas soluções, pois a congestão do trânsito não se resolverá indefinidamente adicionando novas vias, os resíduos não poderão ser permanentemente enterrados, quando já se fecham aterros de resíduos, as infra-estruturas não poderão ser rapidamente construídas com os mesmos materiais e os mesmos paradigmas de gestão de projecto e as zonas urbanas contaminadas não serão reclassificadas continuando-se a incinerar enormes volumes de solo.

Com o crescimento da população e a diminuição dos recursos, tem que se tomar consciência que qualquer abordagem que seja adversa à preservação do ambiente e à conservação dos recursos se tornará um beco sem saída.

A consideração com sucesso e em conjunto dos efeitos do aumento da população, do aumento da congestão de transportes, da decadência das infra-estruturas, da retracção das opções de gestão dos resíduos, da deterioração do ambiente, da destruição por desastres naturais ou tecnológicos e do aquecimento global, levará um novo tipo de tecnologia e um novo tipo de mentalidade, em que a *gestão de riscos* será uma disciplina fundamental.

2 LIGAÇÃO ENTRE A CIÊNCIA, A TECNOLOGIA E A SOCIEDADE DE RISCO

Na sociedade actual, os progressos tecnológicos, as tensões económicas e o crescimento demográfico constituem um factor de risco para utilizadores, para as empresas e para a Sociedade. Os utilizadores têm que conviver com acontecimentos dificilmente imagináveis, como os organismos geneticamente modificados, a clonagem, a internet e as nanotecnologias. As empresas enfrentam a competição desleal pautada por pressões económicas, pelas exigências dos accionistas, pela competitividade a nível global, pelo aumento dos custos directos e indirectos e pela presente crise económica mundial. Perante todas estas contingências, a Sociedade poderá sofrer uma séria ameaça à sua autonomia e à sua liberdade de escolha.

Assim, será imprescindível, cada vez mais, a adopção de abordagens de gestão de risco, baseadas na sua análise (quantificação do risco), na sua apreciação (comparação com critérios pré-estabelecidos) e na aplicação global de políticas, de processos e de práticas relacionadas com a percepção e a comunicação do risco.

Os riscos constituem uma ameaça, tangível ou intangível, e são a origem de receios e medos, alimentando a emoção e a racionalidade e, deste modo, fazendo despertar uma atitude crítica que vai permitir uma melhor forma de tratar o risco num contexto de complexo.

Trata-se, assim, de uma *sociedade de risco*, tornando-se, pois, urgente aprofundar a ligação entre o Conhecimento, designadamente a Ciência e a Tecnologia, e a Sociedade (Maranha das Neves, 2005).

Uma das características sempre presentes numa análise de risco é a existência de incertezas em qualquer das etapas que a constituem. No entanto, a incerteza associada ao risco nem sempre é negativa, podendo constituir uma oportunidade e agir como uma força mobilizadora dos cientistas, promovendo descobertas, que alargam o conhecimento, e permitindo a sua apropriação intelectual. Contudo, quando usado de modo errado, este conhecimento pode também em si mesmo, constituir um risco.

Com base nos conhecimentos científicos desenvolvidos com base na incerteza, pode produzir-se, tecnologicamente, o desenvolvimento de novas ferramentas e novos saberes, e surgirem novas invenções, que alargam as capacidades para lidar com o risco e que, complementarmente, conduzem à sua apropriação industrial e à partilha de lucros. Quando não devidamente contextualizados ou testados, podem, no entanto, constituir uma ameaça a curto ou a longo prazo e contribuir para o aparecimento de novos riscos ou para o agravamento dos riscos existentes.

Visando a auto-protecção e o bem-estar, a Sociedade, em geral, tende a considerar a incerteza na engenharia como inaceitável, face à necessidade de se sentir segura, convivendo mal com ela e apresentando relutância na apropriação de produtos com risco. No entanto, as descobertas que dela decorrem, trazem-lhe inegáveis benefícios em termos de utilização.

Assim, *correr riscos* é um desafio para os cientistas, é uma força motora para as novas tecnologias e alimenta a economia. O objectivo da gestão dos riscos é o de controlar os eventos perigosos e as incertezas.

No contexto da percepção do risco, a ligação entre o Conhecimento e a Sociedade, para ser eficiente, necessita de maiores aprofundamentos e de ser melhor compreendida.

A percepção do risco e a sua aceitabilidade é influenciada por diversos factores, entre eles se destacam a natureza do risco, o grau de informação disponível e os aspectos éticos, culturais, sociais, políticos, psicológicos e económicos. Concretamente, a percepção do risco é influenciada pelos seguintes três aspectos (Lee e Jones, 2004), ordenados de forma crescente de valorização: (i) o *temor* - a aversão ao perigo e aos seus resultados, a sensação de perda de controlo, as consequências fatais e o potencial catastrófico de eventos indesejáveis (como as catástrofes naturais); (ii) o *desconhecimento* - a natureza desconhecida de um perigo, não observável, novo e diferido em termos da sua manifestação (como as alterações climáticas); (iii) e a *exposição* - o número de pessoas expostas ao risco.

Em geral, a Sociedade aceita escolhas individuais não controláveis (emocional), como o tabaco, o álcool e as drogas. Considera aceitáveis as escolhas colectivas controladas mediante a adopção de medidas preventivas e de adaptação individual (ligadas com o conhecimento), como os riscos associados à condução automóvel, ao transporte aéreo, a competições desportivas e a situações extremas. Por último, tem relutância a situações de incerteza sobre os riscos potenciais, tendendo ao controlo, à elaboração de leis e de regulamentos. Por exemplo, é avessa a produtos geneticamente modificados, à clonagem e à energia nuclear.

Com a gestão do risco pretende-se repô-lo no contexto adequado, promovendo-se a abertura, a transparência e a responsabilidade, e estabelecendo-se, para as novas tecnologias, uma equilibrada abordagem de julgamento.

Assim, a Sociedade tem que ter consciência que *não há ausência de risco*, pelo que a sua aceitação é um processo de *decisão informada* próprio e público. A aceitabilidade é, por seu lado, a consequência de uma regra formulada pela Sociedade que deve ter em conta, para além dos interesses particulares, os benefícios decorrentes para a população.

Os riscos potencialmente devastadores constituem o maior problema, uma vez que se baseiam em hipóteses credíveis, mas ainda não demonstradas, e têm efeitos, geralmente, aceites.

Para fundamentar decisões na ausência de um conhecimento preciso, há que progressivamente melhorar a ligação entre o Conhecimento e a Sociedade.

Deste modo, as análises de risco devem-se basear nas melhores metodologias científicas, ter em conta a informação obtida e os dados disponíveis e ser aferidas pela evidência científica disponível.

Os julgamentos usados no desenvolvimento da apreciação do risco, como hipóteses, pressupostos e incertezas, devem ser declarados explicitamente. Deve igualmente ser articulado o raciocínio destes julgamentos e a sua influência na apreciação do risco.

Os principais intervenientes nas abordagens de riscos são os cientistas, os engenheiros, os decisores políticos, os peritos e os meios de comunicação social, apresentando todos algumas limitações. Assim, os cientistas e os engenheiros revelam uma abordagem racional do problema, mas têm algumas dificuldades na partilha dos conhecimentos. Os decisores políticos elaboram as regras e os procedimentos, mas apresentam uma fraca ligação ao conhecimento. Os peritos não são cientistas, mas têm uma abordagem científica. Os meios de comunicação devem transmitir responsabilmente os temas de Ciência e de Engenharia e explicá-los claramente, de acordo com os requisitos que percebem nos seus receptores, sem recurso à gíria profissional.

3 GOVERNANÇA DO RISCO

A governança do risco é fundamentalmente da responsabilidade dos Governos, geralmente através de directivas, de regulamentos e de normas, e dos Donos de Obra que exercem actividades que geram risco (Harford, 2008). Inclui as formas de como o significado dos riscos é avaliado e como os riscos são apreciados e comunicados ao público e às organizações que criam o risco. Ressalva-se que o que se comunica pode ser real ou percebido e que podem existir inconsistências nas mensagens transferidas para os operadores, o que deverá ser evitado.

Com o controlo do risco não se pretende proteger, a todo o custo, as pessoas, mas realizar trocas entre diferentes riscos, trocas de riscos entre alguns indivíduos ou grupos, transferência de riscos para outros e trocas entre custos e benefícios.

Frequentemente, aqueles que criam o risco não suportam as suas consequências, nem os seus amplos custos, pelo que, em assuntos que envolvem o risco societal, não se podem simplesmente aplicar abordagens internas de gestão de risco. Tal significa que nas decisões relativas ao *controlo do risco* devem ser apreciadas considerações mais abrangentes de âmbito societal.

Assim, o Estado deve intervir para *regular o risco* e, em certos casos, a uma escala transnacional ou global, confrontando-se, designadamente, com a necessidade de progresso económico, social e tecnológico cotejado com a filosofia de “risco zero” ou de “segurança garantida”. Neste contexto, o risco deve ser entendido uma parte necessária da condição humana, dependendo o progresso, muitas vezes, do risco que se incorre e do ensinamento que se colhe com base em incidentes ou em acidentes.

Os riscos devem ser controlados, mas não podem, em muitas circunstâncias, ser eliminados, devendo – no interesse do desenvolvimento tecnológico e do progresso social – a opinião pública mudar de posição do que é *aceitável* para o que é *tolerável*.

De acordo com Bacon (1999), o “suficientemente seguro” é um objectivo a ser atingido no projecto, na construção e na gestão do risco. Esta também é a filosofia dos actuais eurocódigos, que estendem as exigências de controlo da segurança para além da fase do projecto, incluindo a fase de construção e de exploração, e actividades de revisão, de inspecção e de observação, próprias de uma adequada gestão dos riscos.

Conceptualmente, a distribuição do risco pode ser como representada na Figura 1.

Os riscos são considerados em termos de: (i) *riscos sociais*, a toma dos quais obriga ao consentimento da Sociedade, (ii) *riscos* que *não* devem ser assumidos, porque o fardo da perda é incomportável, independentemente da probabilidade associada, (iii) *riscos arcados* parcial ou integralmente *pelas seguradoras*, mas os quais não devem ser assumidos com frequência, devido ao fardo da perda requerer que a organização exceda a sua capacidade de assegurar a gestão do risco, (iv) *riscos* que estão seguros e podem ser tomados, mas os quais podem ser eficientemente e *eficazmente reduzidos*, (v) *riscos de rotina*, que são geridos no contexto do plano do activo da infra-estrutura (e no programa de manutenção).

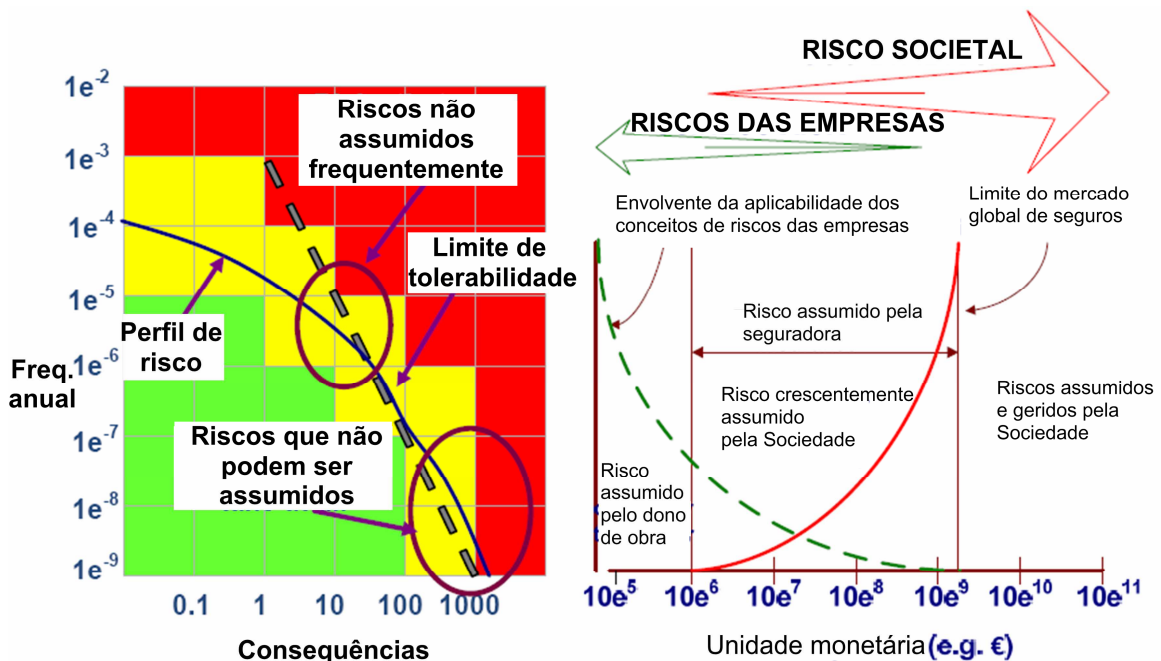


Figura 1 – Distribuição dos riscos (Harford, 2008)

A aplicação de um método científico de análise e de apreciação do risco confere evidências sólidas para a concepção de políticas e o desenvolvimento das actividades operacionais, evitando a implementação de políticas e de iniciativas falhadas e o desperdício de dinheiro.

A tarefa do regulador do risco – e das comunidades científicas e de engenharia – é a de reafirmar os conceitos do *risco justificado* e do “*suficientemente seguro*”, de demonstrar a eficiência da boa ciência e da tecnologia no fornecimento de sistemas robustos de gestão e de controlo do risco e de tornar transparente o processo de julgamento científico e as decisões de engenharia (Bacon, 1999).

4 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS DONOS DE OBRAS

Uma infra-estrutura pertencente a uma empresa operará, geralmente, em função de um conjunto de *valores* e de *princípios*, explícitos ou implícitos (inferidos pela forma como a empresa opera), definidos ao mais elevado nível hierárquico. Com base neste conjunto serão estabelecidos procedimentos, normas ou directivas para que a operação decorra em respeito estrito pelos valores e princípios superiormente definidos.

Os *valores* representam os fundamentos e as preocupações que regem as actividades da empresa e podem ser ambientais, monetários ou a sua reputação (valor intangível). Assim, uma empresa amiga do ambiente valorizará a saúde e o desenvolvimento sustentável. Uma empresa orientada para a segurança valorizará os resultados seguros.

Os *princípios* relacionam-se com o modo como a organização põe os seus valores em prática. Por exemplo, se uma empresa valoriza a fiabilidade, a organização das suas operações deve ser orientada de acordo com os seguintes quatro princípios: (i) *redundância* (mais do que um modo para gerar o mesmo resultado); (ii) *segregação* (separação das vias para conduzir ao mesmo resultado); (iii) *diversidade* (diferentes projectos do sistema para produzir o mesmo resultado); (iv) *atitude defensiva* (grandes margens de capacidade produtiva sobre a procura).

Como exemplo, na Barragem de Cerro de Lobo, da empresa Somincor, para preservar o ambiente (*valor*) foi adoptado o *princípio* de descarga nula.

Ao mais alto nível, as políticas transformam os valores e os princípios das organizações em direcções operacionais, devidamente enquadradas pelo sistema legal de jurisdição do local onde a actividade se desenvolve.

As políticas modernas devem ser (U. K. Government, 1999):

- *estratégicas*, isto é, serem prospectivas e contribuírem para objectivos a longo prazo, baseadas em tendências estatísticas e em estimativas informadas do impacto provável da política;
- *focadas nos resultados*, procurando promover as alterações desejadas no mundo real e comunicá-las de modo eficiente;
- *associadas* (se necessário), de modo a ultrapassarem as fronteiras institucionais para objectivos estratégicos socio-económicos;

- *inclusivas*, sendo justas e tendo em conta o impacto nas necessidades de todos aqueles que, directa ou indirectamente, são afectados pela política;
- *flexíveis e inovadoras*, considerando as causas, não os sintomas, não receando a experimentação e assumindo que as questões obrigam à reflexão e encorajam novas ideias, comentários e sugestões;
- *robustas*, apresentando resultados práticos, desde o início, e resistentes ao tempo;
- submetidas a *avaliação* sistemática dos resultados do processo político;
- submetidas a *revisão*, isto é, a política estabelecida deve ser mantida sob revisão para assegurar que continua a tratar adequadamente os problemas para as quais foi concebida, tendo em conta os efeitos a ela associados;
- permitir *extrair ensinamentos*, ou seja, aprender com a experiência do que resulta e não resulta.

Tradicionalmente, o processo político pode ser olhado como uma sequência de actividades fortemente inter-relacionadas e interdependentes, as quais, juntas, formam um ciclo impulsionado para a progressiva melhoria dos resultados. O modelo básico é apresentado na Figura 2.

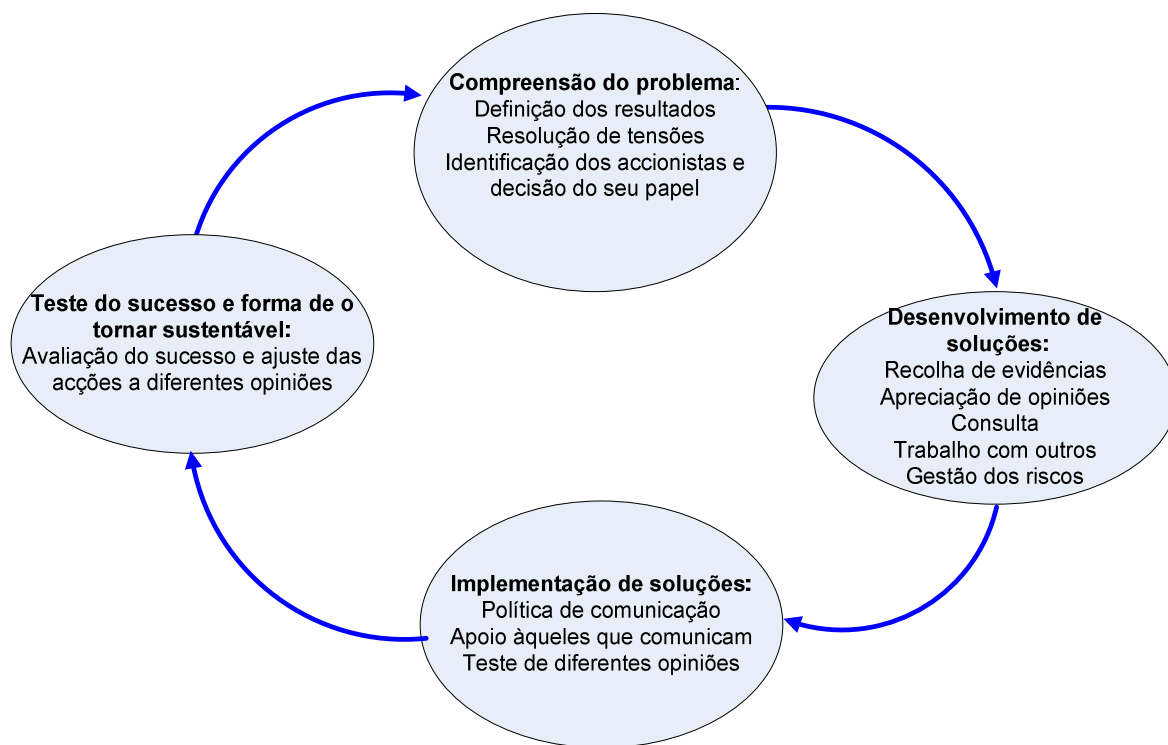


Figura 2 – Modelo tradicional de política (Hartford, 2008)

O processo de *decisão informada pelo risco* deve possuir as seguintes características - ser abrangente, justo e equitativo, transparente, verificável e defensivo. A apreciação do risco confere uma base de clarificação dos custos, dos benefícios e dos riscos e um enquadramento para permitir decisões informadas, respeitando os interesses da Sociedade.

Assim, os reguladores e os geradores do risco devem ser capazes de explicar o perigo, as características do risco envolvido, o grau de incerteza admitido na sua quantificação, os métodos usados para estas apreciações e os limites de confiança a eles associados. Com este objectivo, será necessário proceder a uma clara e inequívoca caracterização do problema, à adopção de uma abordagem interdisciplinar, à aplicação de boas práticas estabelecidas e à verificação, avaliação e revisão por pares das conclusões obtidas.

Um exemplo de uma escolha política é a definição de um índice de fiabilidade apropriado para o cálculo estrutural. Tradicionalmente, o contexto desta decisão tem sido o de evitar o colapso estrutural. Em termos de abordagem *informada pelo risco*, é necessário determinar o espectro de interesses afectado pela decisão para definir o respectivo contexto. A United Kingdom Offshore Operator's Association criou o enquadramento ilustrado na Figura 3.

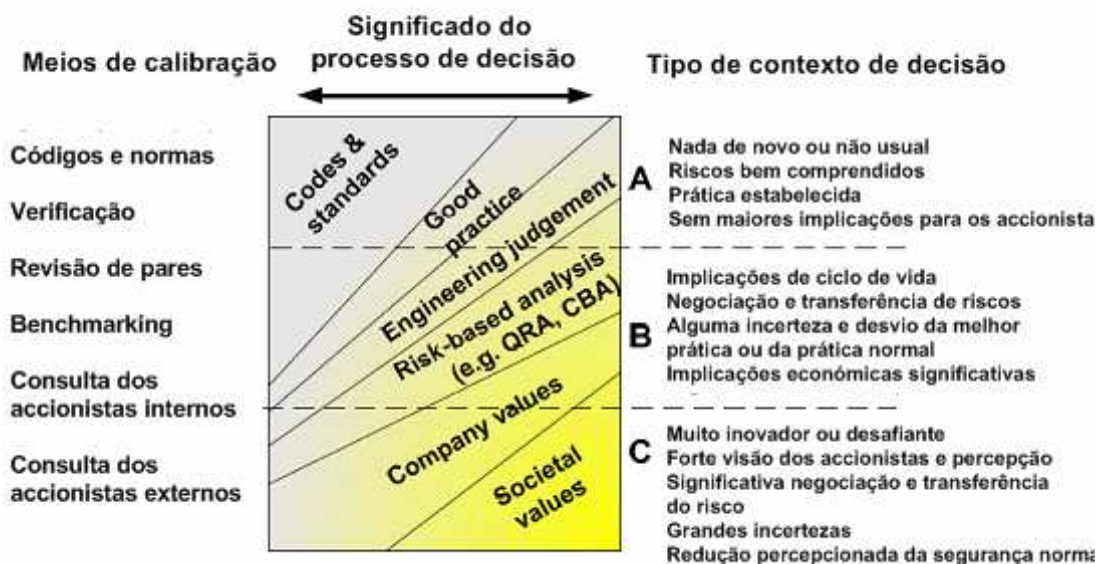


Figura 3 – Enquadramento do contexto de decisão da UK Offshore Operator's Association

A extensão com que os vários processos (códigos e normas, boa prática, julgamento de engenharia, análise com base no risco, etc.) influenciam a decisão pode ser lido no diagrama da esquerda para a direita. A inovação e a complexidade da decisão estão colocadas no eixo vertical. No contexto da decisão, o projecto de pequenos edifícios será, normalmente, do *tipo A*. O projecto de estruturas correntes e de pequenas barragens será do *tipo B*. As grandes barragens, as centrais nucleares e as barreiras de protecção de grandes cheias serão do *Tipo C*.

Um enquadramento semelhante pode ser adaptado para o desenvolvimento do contexto de decisão de segurança estrutural. No Eurocódigo 7, a classe geotécnica reflecte já, de um modo ainda incipiente, a filosofia exposta.

5 ACTIVIDADES DOS DONOS DE OBRAS

O sistema de gestão de uma entidade cujas operações põe o público em risco, a propriedade pública e o ambiente, incluirá *disposições de gestão específicas* para a integridade do processo, para a garantia da segurança e para o controlo do risco tecnológico. Deverá, igualmente, proporcionar o equilíbrio entre a integridade e a segurança, por um lado, e os resultados operacionais, por outro. Complementarmente, deverão ser definidas as condições em que o controlo da segurança e do risco se sobrepõem aos outros objectivos.

No contexto actual, aos governos, aos organismos públicos e às entidades privadas é requerida a realização de *auditorias externas*. Para acomodar estas exigências, são estabelecidos *planos internos de garantia de qualidade*, de modo a assegurar que a auditoria constitui uma mera formalidade e não proporcionam “surpresas” com um impacto adverso nas suas operações. Recentemente, estes processos de garantia de qualidade e de auditoria externa converteram-se em fontes de ensinamentos como forma de melhorar as respectivas operações.

Tipicamente, o sistema de gestão estabelecerá os valores e os princípios orientadores das operações da entidade que gera o risco. Os valores da organização são transformados em actividades operacionais, através do estabelecimento de princípios específicos que permitem as operações da empresa e reflectem os princípios tutelares da actividade onde se inserem e do regime regulador. Caso as actividades operacionais não atinjam os objectivos propostos em termos de risco operacional, há que implementar acções correctivas, devidamente validadas pela autoridade ou pelo regulador. A Figura 4 ilustra estas actividades operacionais e a relação entre as decisões informadas pelo risco e as acções correctivas.

Logo que os princípios do dono da obra estejam definidos, são estabelecidos os princípios e as normas para a análise e para o projecto de engenharia, que presentemente incluem considerações de gestão ao longo do ciclo de vida.

O *ciclo total de vida* de um bem ou de uma infra-estrutura é caracterizado pela vida económica, de serviço, técnica (obsolescência tecnológica) ou média industrial.

As decisões que têm em conta o ciclo de vida das estruturas são baseadas na análise, avaliação e apreciação de alternativas, mediante a consideração do seu desempenho físico, dos custos, dos benefícios e dos riscos. O *desempenho* é avaliado em termos de fiabilidade, de disponibilidade, de cumprimento ambiental e financeiro (custo unitário), tendo em conta a geração seguinte e os objectivos empresariais. Os *custos* são medidos em termos de

unidades monetárias e de desempenho de segurança e de saúde no trabalho. Os *riscos* dos activos são caracterizados em termos de risco societal e imposto pelo regulador, risco ambiental, segurança (pública e dos trabalhadores) e riscos financeiros.

As operações de manutenção e de reparação devem ser atempadamente programadas, de modo que a gerir a deterioração e o fim de vida das infra-estruturas e das suas componentes de uma forma pró-activa e hierárquica, de modo que a minimizar a redução da capacidade do sistema durante o processo de substituição.

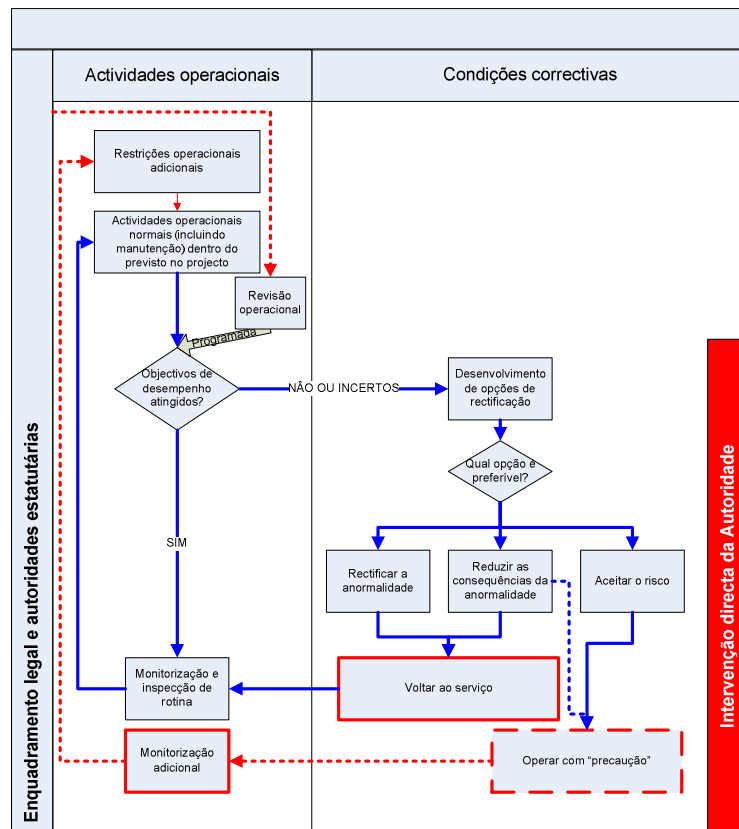


Figura 4 – Actividades de gestão de risco operacional (Hartford, 2008)

Complementarmente, com o objectivo de reduzir o risco e/ou de melhorar o desempenho financeiro da infra-estrutura, podem ser levados a efeito alguns projectos de renovação ou de reabilitação. Dentre estes, os indispensáveis para reduzir os riscos que não devem ser assumidos de todo, ou com frequência, são prioritários relativamente aos essenciais para melhorar o desempenho financeiro, a menos que os ambos os objectivos possam ser atingidos simultaneamente.

O *modelo de ciclo de vida* geralmente adoptado, de uma curva em forma de banheira, está representado na Figura 5.

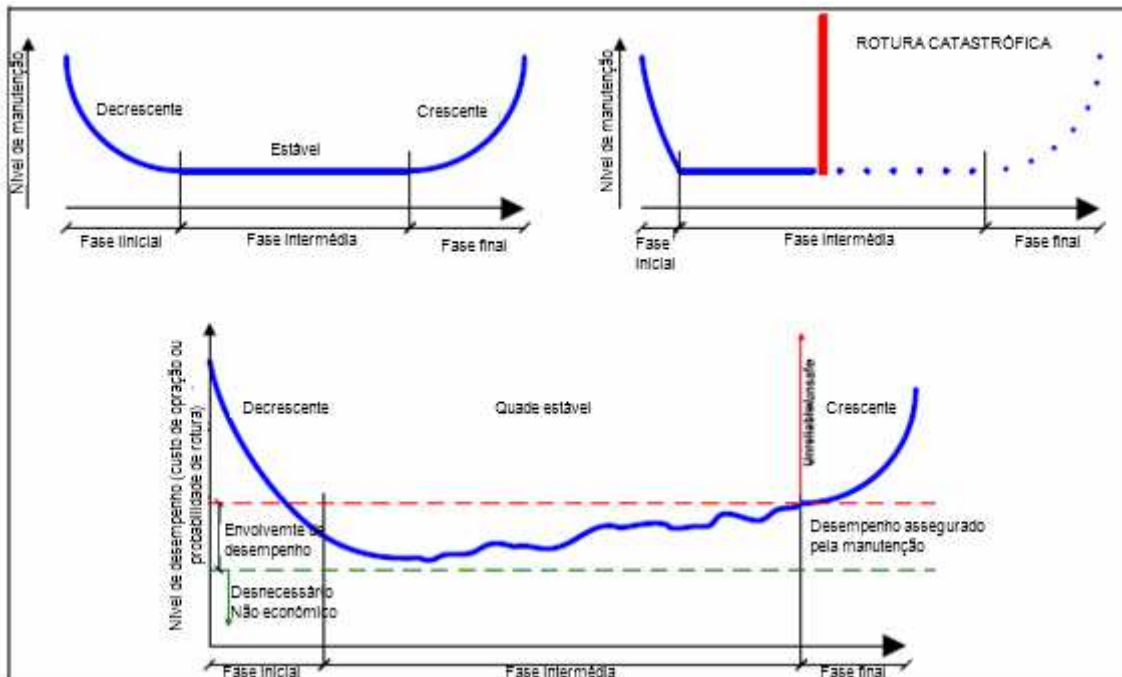


Figura 5 – Modelo de ciclo de vida de um activo

6 MODELOS DE GESTÃO DO RISCO

O primeiro modelo de gestão de risco (Figura 6) foi desenvolvido pela Shell International Exploration and Production (Shell, 1995) nos anos 1990, baseado no trabalho de James Reason (1997), e inclui a consideração de perigos, de modos de rotura das componentes básicas e de sequências de eventos, de circunstâncias e de cenários que conduzem a um evento indesejável. Este evento indesejável pode atingir várias componentes do sistema e exteriores ao sistema, provocando danos pessoais e materiais em propriedades e no ambiente (consequências). Ao longo de cada cadeia de eventos considerados, a sequência pode ser interrompida devido à existência de barreiras, que impedem ou limitam a progressão da rotura ou das respectivas consequências.

Posteriormente, foram sendo aplicados modelos de gestão do risco de carácter determinístico ou probabilístico.

A *gestão de risco determinística* envolve a aplicação de regras pré-determinadas para derivar um valor lógico, verdadeiro ou falso (dadas algumas hipóteses iniciais), que constitua a prova formal de cumprimento de uma especificação ou a demonstração de um requisito de segurança. Pode, também, ser utilizado o cumprimento qualitativo de regras com uma ligação indirecta com os atributos desejados, como seja o cumprimento com as

normas do sistema de gestão de qualidade, a competência e a experiência das equipas envolvidas.

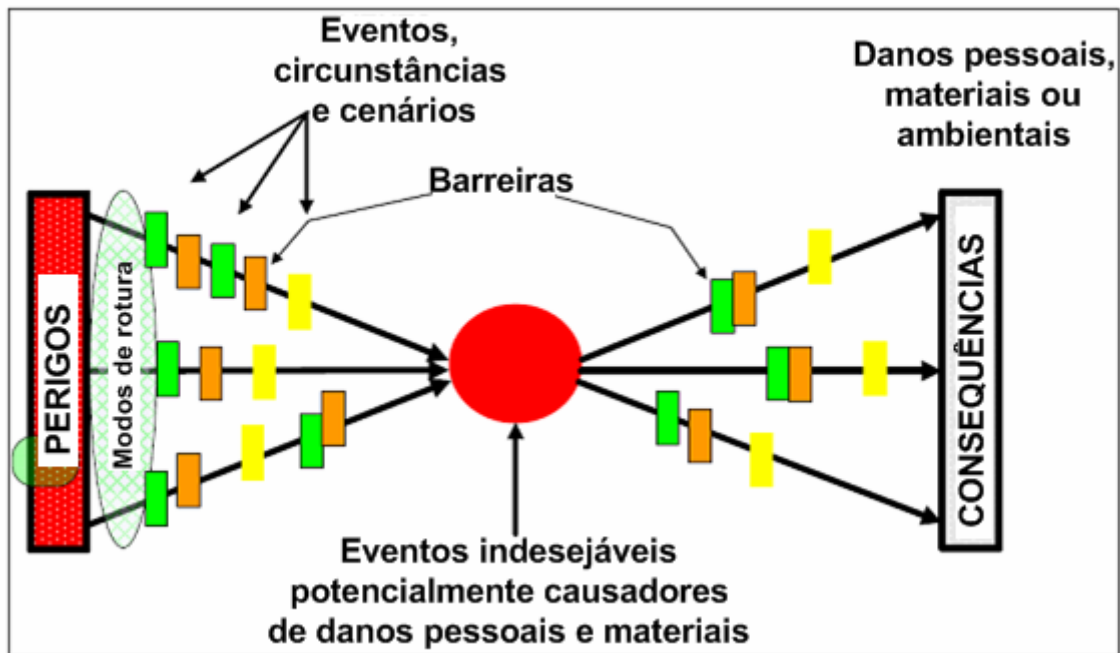


Figura 6 – Modelo de gestão risco da Shell International

A *gestão de riscos probabilística* envolve o raciocínio estatístico quantitativo (tempo médio de rotura, tempo médio de recuperação ou avaliação da fiabilidade) e o raciocínio probabilístico para o estabelecimento de um nível numérico de desempenho. Este valor deverá ser comparado com o nível de tolerabilidade e com o nível de aceitabilidade do risco. O objectivo é demonstrar que o risco se mantém suficientemente baixo.

A gestão de risco probabilística é baseada na apreciação da segurança probabilística (*PSA*), a qual confere uma análise de segurança estruturada e integrada, que combina aspectos de engenharia e operacionais num enquadramento global consistente. Tal permite a identificação e o exame de interacções complexas e fornece uma base lógica para a identificação dos pontos mais fracos do sistema, devendo ser uma parte integrante do desenvolvimento e da análise do projecto. A *PSA* constitui, também, um dado importante para as decisões informadas pelo risco, na fase de projecto e em serviço.

O âmbito e a profundidade da *PSA* podem variar, dependendo da magnitude do perigo e dos riscos, do carácter inovador do projecto, da complexidade do empreendimento e da natureza da decisão.

7 INVESTIGAÇÃO DE ACIDENTES

A ocorrência de grandes acidentes parece ser inevitável, apesar de serem pouco frequentes, mas capazes de provocar consequências muito gravosas. As consequências destes grandes acidentes não são, em geral, aceitáveis pela nossa sociedade, devendo ser investigados de modo a evitar a sua ocorrência (*ensinamentos organizacionais*).

Relativamente à gestão de riscos de acidentes (Sklet, 2004) podem definir-se três tipos de estratégias: (i) a *empírica*, relacionada com a segurança ocupacional, frequente, com acidentes de pequena escala, em que a segurança é, tipicamente, controlada empiricamente, com base em estudos de acidentes passados; (ii) a *evolucionária*, onde a protecção contra acidentes pouco frequentes, de média dimensão, envolve melhoramentos do projecto decorrentes da análise individual de acidentes recentes graves e (iii) a *analítica*, na qual a protecção contra acidentes raros e inaceitáveis deve basear-se em modelos fiáveis de predição dos processos de acidente e na probabilidade de ocorrência (risco probabilístico/análise de segurança).

O processo de investigação de acidentes envolve, essencialmente, quatro fases principais (parcialmente sobrepostas): (i) a *recolha* de evidências e de factos; (ii) a *análise* dos elementos recolhidos e o desenvolvimento de conclusões; e (iii) a elaboração e a implementação de *recomendações*. Complementarmente, o recurso a técnicas analíticas pode também assegurar a transparência e a revisão dos resultados.

Nas últimas décadas, foi desenvolvido um grande número de métodos para a investigação de acidentes, cada um dos quais com diferentes campos de aplicação, vantagens e inconvenientes, pelo que, numa investigação cuidada de um acidente complexo, deve ser usada a combinação de vários métodos.

Estes métodos podem ser classificados de acordo com o sistema envolvido no controlo da segurança, compreendendo os seguintes níveis: (i) o de *trabalho* e o sistema tecnológico; (ii) o da *equipa*; (iii) o de *gestão*; (iv) o da *empresa*; (v) o das *entidades reguladoras* ou das associações; e (vi) o do *Governo*.

Os métodos são do tipo *indutivo*, *dedutivo*, *morfológico* ou não orientado para o sistema, por um lado, e primários ou secundários, por outro lado. A abordagem indutiva envolve o raciocínio do geral para o particular, a dedutiva significa partir de casos individuais para conclusões gerais, enquanto que a abordagem morfológica é baseada na estrutura do sistema em estudo. Os métodos *primários* constituem técnicas auto-suficientes e os *secundários* fornecem dados para a utilização de outros métodos.

No decurso do processo de investigação, a *descrição gráfica* da sequência do acidente pode revelar-se de grande utilidade, dado que permite a visualização, de um modo facilmente compreensível, dos eventos que levaram ao acidente, bem como da relação entre os diferentes eventos, e facilita a comunicação e a identificação de ligações esquecidas ou de falta de informação.

Um importante princípio para prevenir os maiores acidentes é o princípio de *múltipla defesa* (também designado de múltiplas barreiras de segurança ou múltiplas camadas de protecção). A análise dos mais significativos acidentes devem, portanto, incluir uma análise de como as barreiras de segurança influenciam o acidente.

O *processo de trabalho normal* pode também influenciar, directa ou indirectamente, os cenários de acidente, pelo que deve também ser reflectido nas investigações de acidentes.

7.1 Diagramas de Eventos de Factores Causais (ECFC) e Análise de eventos e de factores causais

Os diagramas de eventos e dos factores causais são uma forma gráfica de apresentar a cronologia do acidente e são usados principalmente para compilar e organizar as evidências e retratar a sequência dos eventos do acidente. A análise de eventos e de factores causais requer um raciocínio dedutivo para determinar quais os eventos e/ou as condições que contribuíram para o acidente.

O diagrama dos eventos e dos factores causais consiste na sequência de eventos primários, nas sequências de eventos secundários e nas condições que influenciaram os eventos (Figura 7).

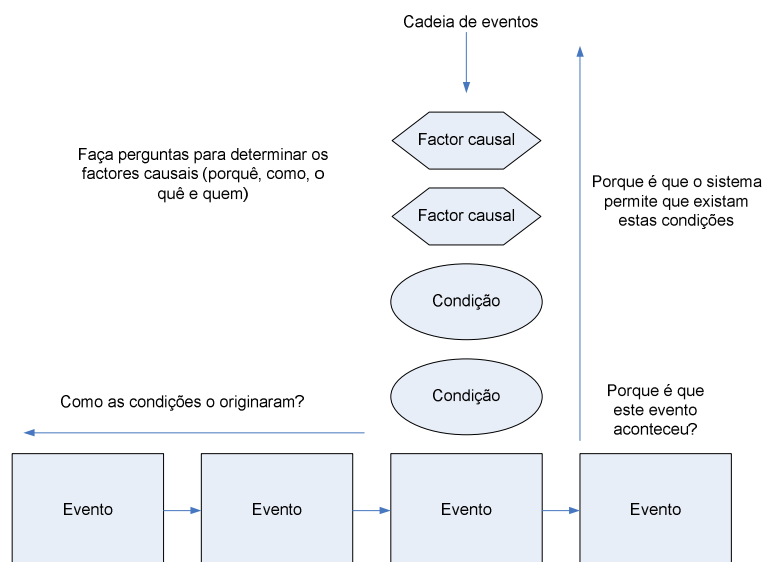


Figura 7 – Análise de eventos e de factores causais (DOE, 1999)

A sequência de eventos primários que levaram ao acidente é colocada no diagrama horizontalmente, de forma cronológica, da esquerda para a direita. Os eventos secundários são adicionados ao diagrama de eventos e de factores causais, inseridos, quando apropriado, num alinhamento sobre a linha de sequência primária. As condições passivas, que descrevem estados ou circunstâncias e não ocorrências e que afectam os eventos primários ou secundários, são colocadas sobre ou sob estes eventos.

Determinam-se, em seguida, os factores causais dos eventos significativos e das condições que levaram ao acidente.

Este processo é um primeiro passo importante para a determinação posterior das causas iniciadoras de um acidente.

7.2 Análise de barreiras

A análise de barreiras é utilizada para identificar os perigos associados com um acidente e as barreiras que deviam ter sido colocadas para o evitar.

Uma *barreira* é qualquer meio utilizado para controlar, evitar ou impedir que um perigo atinja um determinado alvo. São descritos dois tipos principais de barreiras: as *físicas* e as de *gestão* (Figura 8).

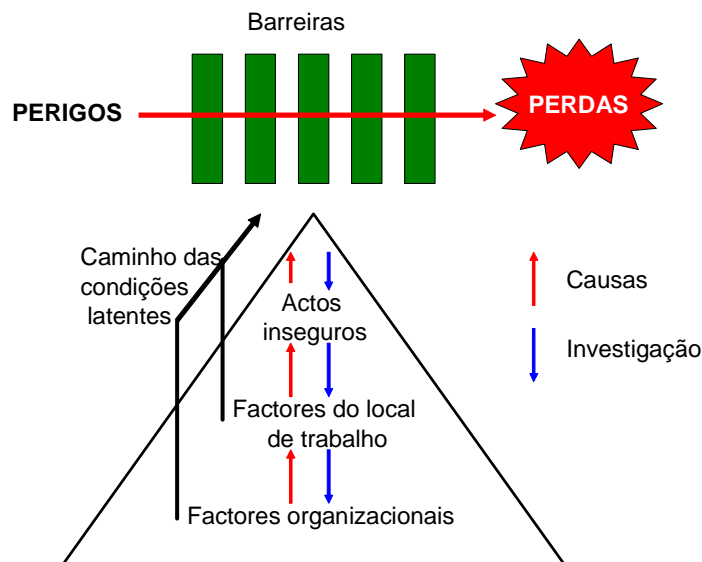


Figura 8 – Modelo de barreiras (Reason, 2004)

A análise de barreiras investiga: (i) as barreiras que existiam e como funcionaram, (ii) as que existiam e não foram usadas, (iii) as que não existiam, mas que eram necessárias, (iv) e as que, se presentes ou reforçadas, teriam evitado o mesmo ou a ocorrência no futuro de acidentes semelhantes.

As etapas básicas de uma análise de barreiras são a identificação do perigo, do alvo e de cada barreira, o levantamento do modo como a barreira funcionou, a identificação e a consideração das causas prováveis para a rotura ou a falha da barreira e a avaliação das consequências da rotura no acidente considerado.

7.3 Análise dos perigos e da sua operacionalidade

A análise dos perigos e da operacionalidade (*HAZOP*) examina as alterações, planeadas ou não, que provocaram os resultados indesejáveis. O método insere-se na família dos *métodos de desvios* que, como o nome indica, centram a análise nos desvios de determinadas grandezas com repercussão no desempenho do sistema, com vista à identificação das suas causas e dos seus efeitos e à definição de eventuais medidas de controlo que se revelem necessárias.

No âmbito da aplicação do método, o termo *causa* tem um sentido lato, podendo significar um acontecimento iniciador, uma resposta ou um resultado no sistema ou subsistema em análise, função da grandeza em questão, e *efeito* reporta-se às consequências no sistema ou subsistema em análise.

A *HAZOP* pode ter aplicação privilegiada, designadamente, no despiste de desempenhos ou de procedimentos deficientes com potencial para induzirem estados limite de subsistemas ou do sistema. É, por vezes, descrito como um pensamento estruturado, necessariamente com um conhecimento fundamentado sobre o sistema ou subsistema em análise, em que se pensa, de forma sistemática, sobre causas e os efeitos dos desvios e sobre eventuais medidas de controlo (Figura 9).

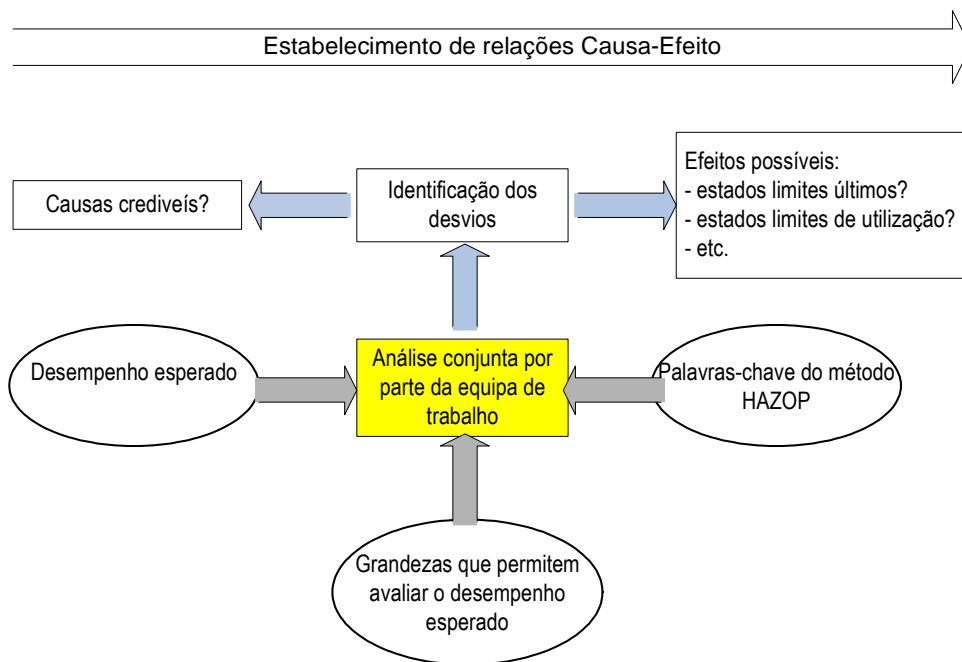


Figura 9 - Análise dos perigos e da operacionalidade (Pimenta, 2009)

Há que começar por caracterizar o sistema ou subsistema em causa, especificando o desempenho esperado, atendendo, designadamente, às concepções de projecto e aos modelos de comportamento, e identificando as grandezas que permitem avaliar esse desempenho. Em seguida, caracterizaram-se os desvios das grandezas em análise, por intermédio de palavras-chave previamente definidas, associando-lhes possíveis causas e

efeitos. Finalmente, identificam-se as medidas de controlo existentes e definem-se eventuais medidas adicionais, que se revelem necessárias.

Uma alteração é qualquer coisa que perturba o “equilíbrio” de um sistema em operação como planeado. As alterações são muitas vezes fontes de desvios nas operações do sistema. Numa investigação de um acidente, esta técnica é usada para examinar um acidente analisando a diferença entre o que ocorreu antes, ou era esperado, e a sequência real de eventos. Identificam-se as diferenças específicas entre a situação sem acidente e o cenário de acidente. Estas diferenças são avaliadas para determinar se estas diferenças causaram ou contribuíram para o acidente.

7.4 Análise de causas iniciadoras

Uma análise de *causas iniciadoras* identifica as deficiências subjacentes na gestão da segurança do sistema que, se corrigidas, evitariam a ocorrência do mesmo ou de um acidente semelhante.

A análise de causas iniciadoras é um processo sistemático que usa os factos e os resultados de técnicas analíticas nucleares para determinar as razões mais importantes para o acidente.

Enquanto que as técnicas analíticas nucleares devem dar respostas a questões relacionadas com *o quê, quando, onde, quem e como*, a análise de causas iniciadoras deve resolver a questão *porquê* e requer um certo grau de julgamento.

Previamente à aplicação de uma análise deste tipo, deve ser desenvolvida uma lista de factores causais relativamente exaustiva, para assegurar que as causas iniciadoras finais sejam correctas e abrangentes.

7.5 Análise de árvore de falhas

Os métodos de análise por árvores de falhas (*FTA*) são métodos dedutivos, úteis para apresentar as combinações lógicas de estados do sistema e das possíveis causas que contribuem para um evento específico, chamado *de evento de topo*, relacionado com um acidente (rotura ou perda de funcionalidade do sistema). Trata-se de um modelo gráfico que descreve, utilizando portas lógicas, as várias combinações de eventos normais, roturas de componentes, de falhas de equipamentos, de erros humanos e de factores ambientais que podem resultar num acidente e permite determinar a probabilidade deste acidente ocorrer num intervalo de tempo específico (Caldeira, 2008). A análise de árvore de falhas pode ser qualitativa, quantitativa ou ambas. O seu ponto forte quando qualitativa é a sua habilidade para desagregar um acidente em causas iniciadoras.

A análise por árvore de falhas permite igualmente verificar se todas as medidas possíveis foram efectivamente consideradas para prevenir o risco associado ao evento considerado.

Como vantagens da *FTA* podem-se referir o facto de conferir um esquema lógico e gráfico para modelar e analisar os modos de rotura do sistema, de ser orientada para a identificação das falhas do sistema que têm uma influência relevante no *evento indesejável*, de constituir

uma técnica bem desenvolvida e aceita para a avaliação da fiabilidade dos sistemas, de revelar eficiência na modelação de um grande número de eventos e suas combinações e de existir *software* desenvolvido comercialmente que facilita a construção, o registo e a quantificação das árvores de falhas. Através da estimativa da probabilidade de ocorrência dos eventos indutores do evento do topo permite, adicionalmente, dispor de critérios para a prevenção de potenciais acidentes.

Na Figura 10 apresenta-se uma árvore de falhas quantitativa, construída para avaliar a probabilidade global de rotura de taludes de escavação de uma infra-estrutura rodoviária devido à ocorrência de um sismo em função das condições de saturação do maciço.

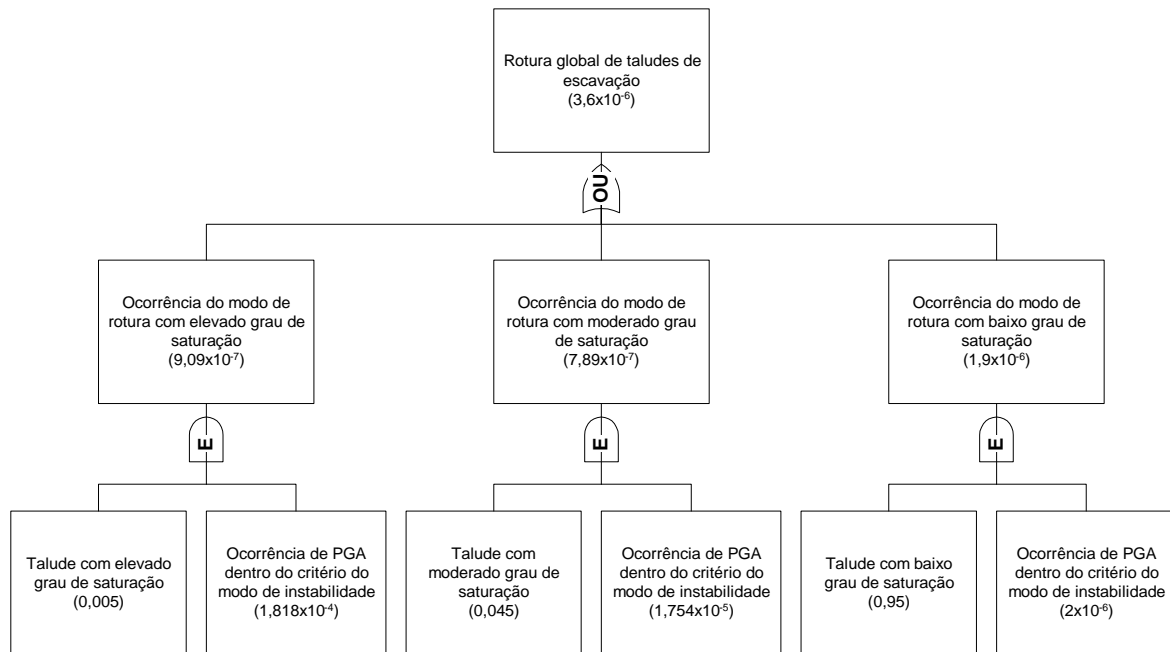


Figura 10- Exemplo de uma árvore de falhas para determinação da probabilidade associada ao escorregamento de taludes por acção sísmica

7.6 Diagrama de influências

O diagrama de influências pode também ser usado para analisar a hierarquia das causas iniciadoras das roturas do sistema: decisões de gestão, erros humanos e roturas de componentes.

Primeiramente, os elementos (eventos básicos e as dependências entre eles) da sequência de acidente (E_i) são sistematicamente identificados. A configuração de rotura ou a sequência de acidente incluem: (i) os eventos iniciadores; (ii) os efeitos intermédios e as consequência directas destes eventos iniciadores; (iii) os estados do sistema final e (iv) as consequências (perdas do acidente).

Seguidamente, para cada um dos eventos básicos, são identificadas e classificadas as decisões e as acções (A_{ij}) que influenciaram estes eventos. Para esta classificação são

consideradas as seguintes categorias: decisões de projecto, decisões de exploração e de expansão, gestão de pessoal, inspecção, manutenção e correcção dos problemas detectados.

A terceira etapa consiste em relacionar as decisões, os erros humanos e os julgamentos questionáveis que tenham contribuído para o acidente com um certo número de factores organizacionais básicos (O_k). A estes factores podem estar associados as características da empresa, da indústria ou mesmo das autoridades governamentais.

Assim, um diagrama de influências ilustra os eventos básicos (cenário de acidente), as decisões e as acções que influenciam estes eventos básicos, os factores organizacionais básicos e a dependência entre eles (Figura 11).

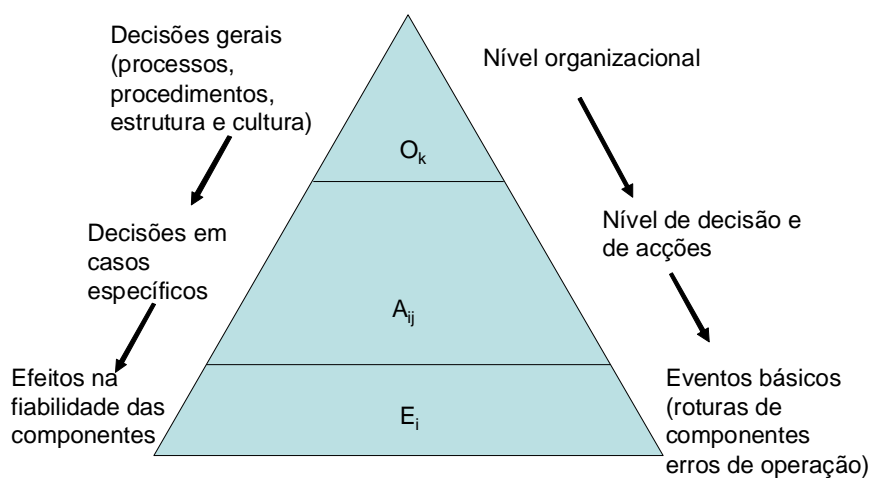


Figura 11 – Diagrama de influências (Paté-Cornell, 1993)

7.7 Análise de árvore de eventos

Por definição (Berthin e Vaché, 2000), a análise por árvore de eventos (*ETA*) não é mais do que um esquema lógico arborescente, que permite ligar, por um método indutivo, os acontecimentos iniciadores às consequências que podem provocar (diagramas causa-efeito), e se requerido calcular as probabilidades associadas. Permite ilustrar os efeitos e/ou estados, intermédios e finais, susceptíveis de ocorrer após o surgimento de um acontecimento inicialmente seleccionado.

A árvore de eventos constitui, assim, uma forma conveniente de desagregar as sequências de rotura em partes, de mais fácil tratamento, e de combinar, de um modo lógico e coerente, os resultados obtidos para essas partes para calcular a fiabilidade do sistema global. O nível de desagregação a atingir depende da disponibilidade de dados sobre as componentes em estudo, de modelos ou de técnicas analíticas para a sua análise, de parâmetros e de hipóteses específicas para avaliação, da extensão dos conhecimentos da

equipa envolvida e da grandeza das probabilidades associadas ao modo de rotura em estudo (Baecher e Christian, 2003).

A sequência de eventos é influenciada pelos êxitos ou pelas falhas de numerosas *barreiras* ou *sistemas/funções de segurança*. A sequência de eventos conduz a um conjunto de possíveis consequências. As consequências podem ser consideradas aceitáveis ou inaceitáveis. A sequência de eventos é ilustrada graficamente, onde cada barreira ou sistema de segurança é modelado para dois estados – operação ou falha.

Uma análise de árvore de eventos é primeiramente um método de análise de risco proactivo, usado para identificar possíveis sequências de eventos. Pode ser utilizada como uma técnica de análise de *pré-acidentes*, que examina, de uma forma sistemática, os procedimentos e dispositivos existentes em obra (de detecção, de alarme, de prevenção, de protecção ou de intervenção) capazes de evitar que os fenómenos precursores de acidentes se desenvolvam e provoquem as roturas. Numa investigação de um acidente, pode ilustrar a trajectória de acidente como uma das possíveis sequências de eventos

A actividade de construção de árvores de eventos é em si mesma instrutiva, quer se usem ou não probabilidades para a quantificação do risco, podendo levar à ponderação de aspectos que, de outro modo, não seriam considerados.

A sua utilidade diminui rapidamente à medida que se introduzem na análise os factores relativos às incertezas, os quais podem ser classificados mediante a atribuição de uma verosimilhança à ocorrência de cada um dos eventos em análise. No entanto, verifica-se que não existe uma forma racional de combinar declarações verbais da verosimilhança de eventos isolados para obter a verosimilhança da rotura de um sistema.

A avaliação quantitativa envolve a associação a cada ramo da árvore de eventos de um valor apropriado de probabilidade. A estimativa desta probabilidade pode ser efectuada, separada ou conjuntamente, com base em análises estatísticas, em modelos de fiabilidade, em análises por árvores de falhas ou na obtenção da opinião de peritos.

Muitos dos modelos utilizados em engenharia focam-se em condições limites do comportamento (limites superiores e inferiores – estados limites de equilíbrio) e não nas estimativas mais prováveis do comportamento (com vista à realização de análises tensão-deformação). Nas árvores de eventos são, muitas vezes, necessárias previsões mais específicas do comportamento do que as produzidas pelos métodos tradicionais.

A Figura 12 apresenta um exemplo de uma árvore de eventos de um sistema constituído por uma barragem, pretendendo-se avaliar os diferentes modos de rotura que poderão ocorrer após a detecção do início de erosão interna.

As *ETAs* são, geralmente, aplicadas para estados binários, onde apenas se admite a ocorrência, ou não, de um determinado evento numa determinada sequência. No entanto, podem também ser utilizadas para sistemas em que estão presentes estados de resposta múltipla (nós de múltiplas possibilidades), constituindo variáveis aleatórias discretas ou contínuas (Figura 12).

A construção de uma árvore de eventos é sequencial, da esquerda para a direita. O processo de construção inicia-se com um evento iniciador e as sequências de todos os eventos subsequentes são produzidas de acordo com a ordem das respectivas ocorrências,

seguindo as linhas de raciocínio do(s) analista(s). Cada trajecto, que parte do evento iniciador, é designado por *ramo*, os quais não são mais do que ligações gráficas desde o evento iniciador através das sequências dos eventos ou dos estados intermédios do sistema até ao ponto terminal. Cada ramo dá uma sequência de respostas únicas e todos os ramos têm um nó de possibilidades comum – o evento iniciador. Os pontos terminais de cada ramo da árvore de eventos são chamados de *folhas*, e definem um estado final único (condicionado por todos os eventos precedentes) de consequências adversas, de rotura (sequência de acidente) ou sem consequências. Deste modo, a árvore de eventos constitui uma estrutura em expansão, que se inicia por um ou mais eventos iniciadores e se alarga combinatoriamente à medida que são considerados os eventos subsequentes.

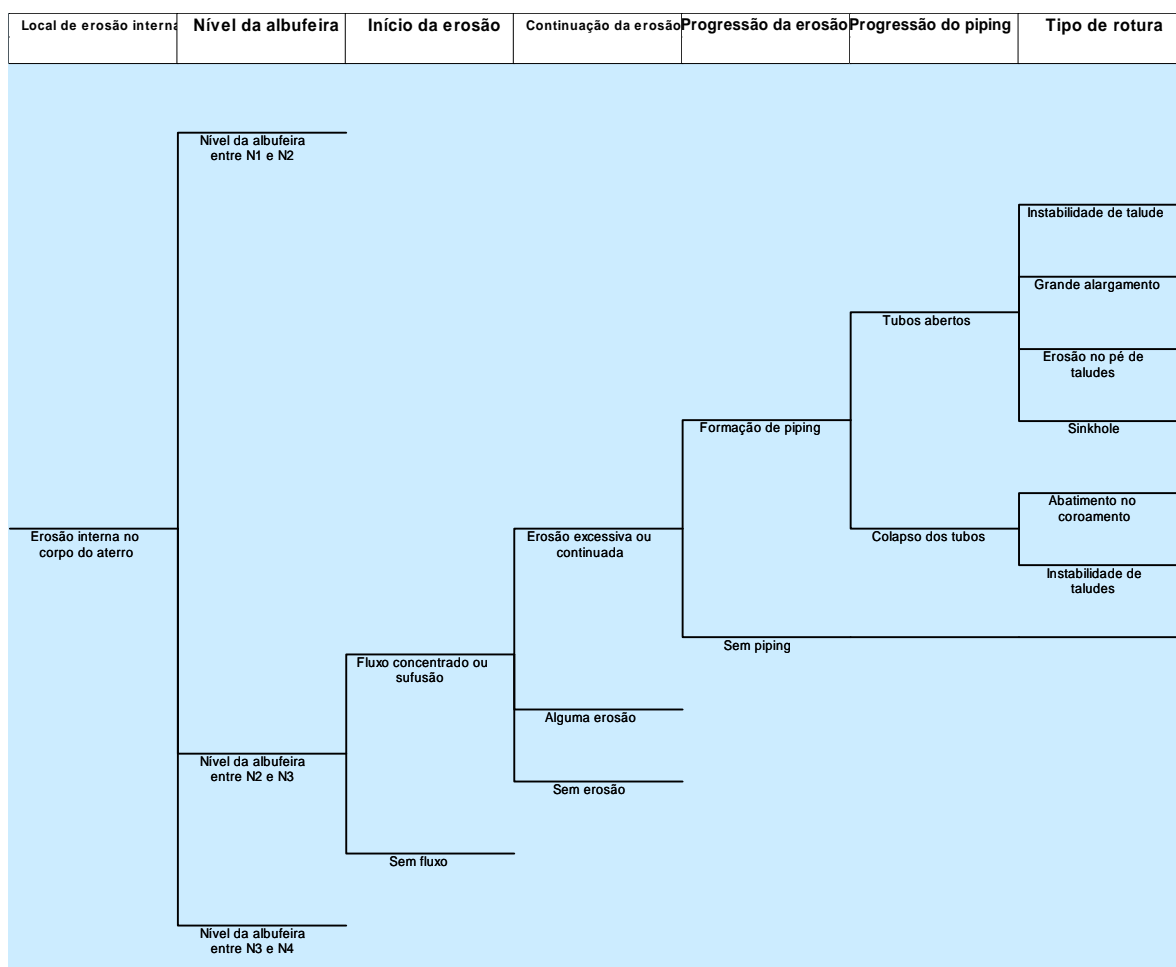


Figura 12 – Árvore de eventos sobre os modos de rotura após ocorrência de erosão interna

Os modos de rotura podem, em geral, ser iniciados por mais do que uma causa. Para facilitar a percepção e o cálculo inerentes, os eventos iniciadores e as suas consequências

são considerados isoladamente, considerando-se desprezável a probabilidade de ocorrência simultânea destes eventos. Por outro lado, apesar de conveniente mas não necessária, é presumida a respectiva estacionariedade.

As árvores de eventos podem incluir a avaliação das consequências (custos ou benefícios associados a cada evento terminal) ou podem apenas incidir sobre os aspectos relacionados com as causas do acidente. A *árvore de consequências* estrutura o conjunto de considerações envolvidas na estimativa das consequências das roturas da mesma forma que uma *árvore de eventos* estrutura as sequências de eventos que conduzem à rotura potencial do sistema. Os diferentes estados do sistema poderão ser incluídos na árvore de eventos ou poderão ser avaliados previamente, através de uma *árvore lógica*, constituindo neste caso a árvore de eventos apenas uma descrição da resposta do sistema no estado considerado para o evento iniciador seleccionado (Figura 13). Para ter uma percepção global do risco do sistema, será necessário, para cada modo de rotura e para cada evento iniciador, condicionar cada árvore de eventos ao longo de todos os estados possíveis do sistema.

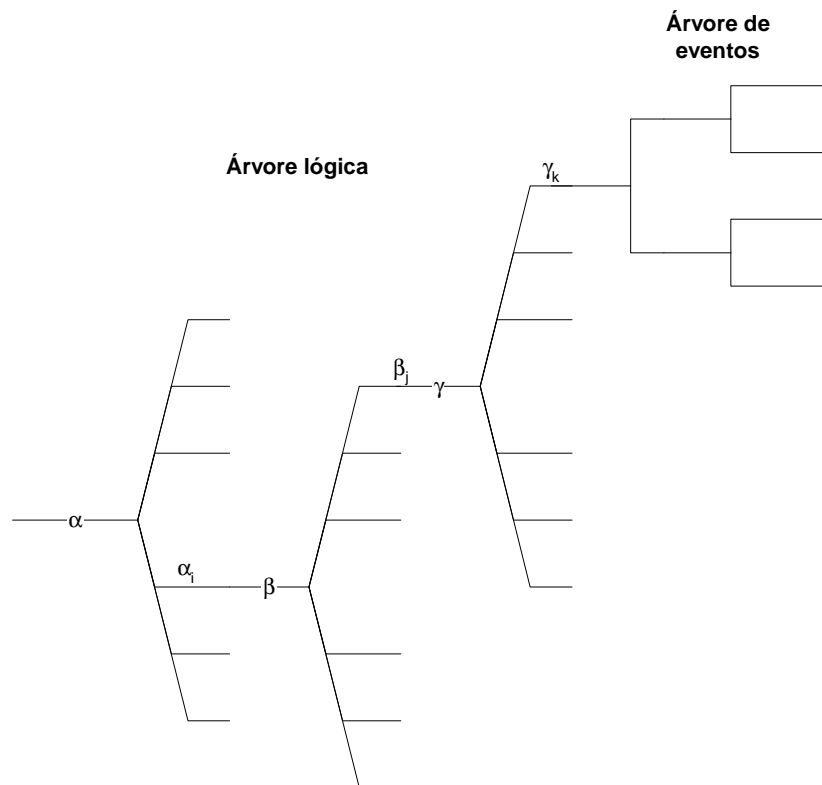


Figura 13 – Relação entre as árvores lógicas e as árvores de eventos (adaptado de Hartford e Baecher, 2004)

As árvores lógicas são, assim, uma forma útil de representação do conjunto de estados para os quais o sistema opera, bem como das respectivas variações (ver Figura 13), descrevendo cada folha de uma árvore lógica um estado pré-existente do sistema, caracterizado por um conjunto de variáveis. Trata-se de uma representação dos vários estados que controlam as

probabilidades no interior da árvore de eventos, sendo todos os cálculos condicionados pelas variáveis de estado associados a cada trajecto da árvore lógica e permitindo ter em conta correlações existentes entre as diferentes variáveis.

As árvores de eventos podem ser representações gráficas de esquemas interpretativos da informação disponível, do conhecimento ou das convicções sobre o comportamento de um determinado sistema.

O objectivo final da *ETA* é proporcionar indicações sobre o funcionamento de um sistema, face às incertezas associadas ao seu desempenho. A probabilidade de acidente reflecte, assim, a incerteza agregada no conhecimento acerca do desempenho funcional da estrutura, do ambiente natural onde se insere e dos processos naturais e humanos que a podem afectar.

As árvores de eventos possuem uma estrutura intuitiva, com grande versatilidade, na qual os técnicos podem organizar uma grande variedade de considerações e de preocupações. Como progredem de acordo com uma ordem cronológica, permitem a reflexão e a descoberta de cadeias de eventos inicialmente não identificadas.

São orientados para ilustrar as condições ou estados do sistema necessários para que o acidente ocorra. Têm provado ser ferramentas especialmente adequadas para analisar situações onde as consequências adversas são subtis e, possivelmente, dependentes de sub-eventos incluídos na árvore. Assim, podem constituir uma base para a análise de situações com sequências de eventos não totalmente conhecidas, mas que podem ser reveladas através da introdução da opinião de peritos, sendo, então, considerada uma estrutura de conhecimento ou de convicção.

7.8 Tripé (TRIPOD)

A ideia de base do Tripé (*TRIPOD*) é que as roturas organizacionais são os principais factores para a causa de acidentes (Sklet, 2004). Estes factores estão latentes, e, quando contribuem para um acidente, estão sempre associados a um certo número de erros técnicos e humanos. Afinal, muitas manifestações de problemas ligados ao factor humano podem ter sua origem em acções ou aspectos relacionados com a empresa, que podem ter ficado camuflados ao longo do tempo e, mesmo, durante os processos usuais de investigação e de análise de acidentes.

O método *TRIPOD* foi criado a partir de um programa de pesquisa sobre factores humanos nas investigações de acidentes na indústria de petróleo. Foi elaborado, para a empresa Shell International, por investigadores das universidades de Leiden e Manchester (Wagenaar e Reason, 1990) e transformou-se numa teoria sobre os acidentes e o modo como eles acontecem. Esta técnica consiste em identificar as fragilidades que contribuem para que um acidente ocorra e expor os mecanismos de falhas latentes que propiciariam a sua ocorrência.

Com a adopção do *TRIPOD*, abandona-se a ideia de que os acidentes acontecem por acaso e que têm sempre um único culpado, e passa a adoptar uma postura de investigação das causas subjacentes aos mesmos. Como consequência, produziu-se uma mudança na avaliação dos acidentes, deixando-se de considerar o factor humano (*erro humano*) como o único culpado no processo que conduz aos acidentes.

Este método (Miranda *et al.*, 2002) considera um acidente como o desfecho de uma história que teve o seu início, muitas vezes, em local e data bem distantes da ocorrência. Demonstra, também, que os actos inseguros não ocorrem de forma isolada, sendo influenciados por factores externos (*pré-condições*). Estas pré-condições originam-se em falhas nos sectores auxiliares ou administrativos (*falhas latentes*), cujas actividades estão afastadas dos sectores directamente ligados à produção – planeamento, projecto e exploração (Figura 14).

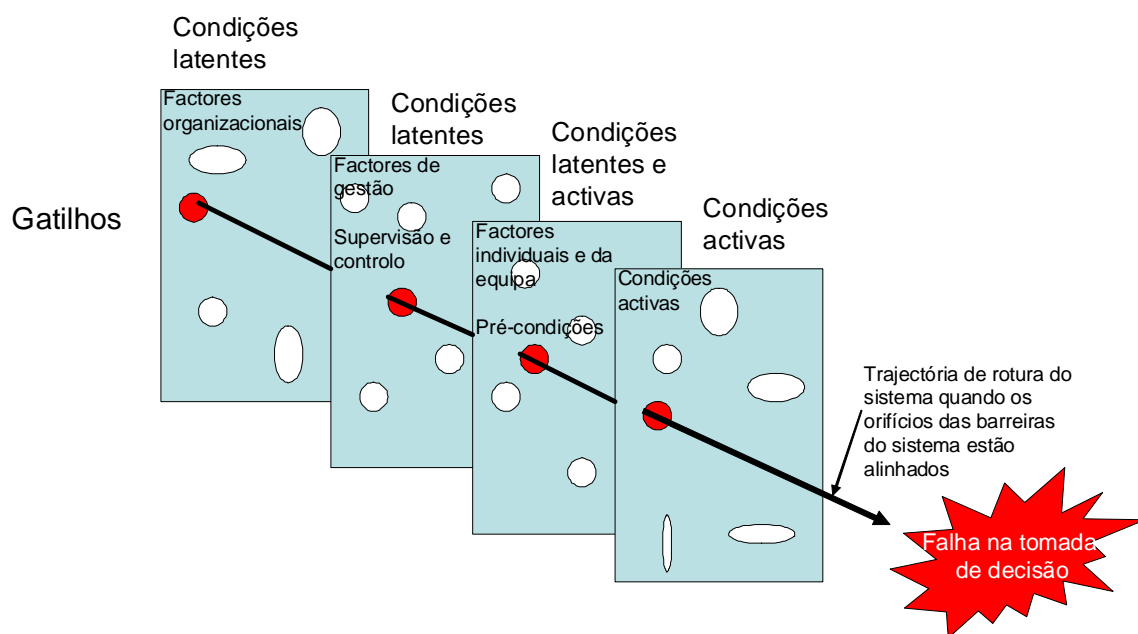


Figura 14 – Metáfora de queijo suíço de Reason (adaptado de Reason, 2004)

Como exemplo, apresenta-se o seguinte: um operador das comportas de uma barragem não as abre (*acto inseguro*) durante a ocorrência de uma cheia (*pré-condições*), apesar de as normas de exploração da barragem o indicarem (*percepção deficiente do risco*), o que revela desconhecimento ou desrespeito pelas mesmas, pelo que se conclui que os intervenientes no controlo de segurança da barragem não tentaram ou não conseguiram consciencializá-lo para um comportamento mais seguro (*falha latente de treino*).

Nas pré-condições incluem-se, entre outros, a baixa motivação, a inadequada percepção de riscos, a exagerada carga de trabalho, o desconhecimento do sistema, a má distribuição de tarefas, os factores de distração e as condições perigosas de trabalho. Estes ingredientes formam o cenário para a ocorrência dos actos inseguros

O método *TRIPOD* visa, então, identificar as falhas latentes que permanecem inactivas no interior dos sistemas, tornando-se evidentes somente quando uma combinação especial de factores consegue vencer as defesas do sistema (um acidente, por exemplo). O seu nome tem origem nos três aspectos chaves da casualidade dos acidentes, que formam um tripé (Figura 15).

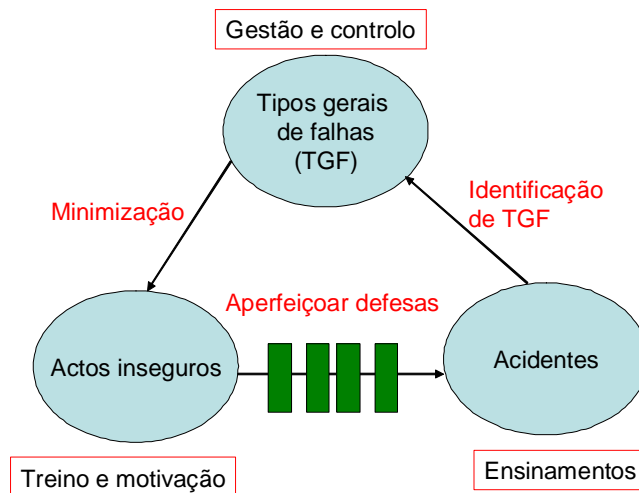


Figura 15 – Visão geral do *TRIPOD* (Reason, 1997)

Um *acto inseguro* é definido como uma “acção ou omissão que, contrariando preceito de segurança, pode causar ou favorecer a ocorrência de acidente”. Durante muito tempo o termo erro foi utilizado, indistintamente, para designar todas as formas como os indivíduos contribuíam para a ocorrência de um acidente. Porém, actualmente, consideram-se dois tipos distintos de comportamentos: os erros e as violações (o mais grave dos actos inseguros) de um procedimento padrão, cometidos na presença de um risco iminente que, não sendo controlado, pode causar lesão e/ou dano (Shell, 1995a).

Os erros podem ser subdivididos em três tipos, de acordo com a sua gravidade: distrações, lapsos e enganos. A distração será um erro cometido por falta de atenção. Os lapsos são ausências de memória com consequência, principalmente, para o praticante do acto, não representando ameaça para os outros. O engano é uma acção derivada de um desvio do objectivo pretendido (Parker, 1995). As violações são definidas com infracções deliberadas de alguma regulamentação ou norma de conduta. Deste modo, os erros serão mais fáceis de serem minimizados através de treino, de formação e de supervisão. As violações, contudo, deverão ser tratadas através de uma mudança de atitude ou estilo de vida (cultura de segurança), o que é muito mais complexo.

Na prevenção dos erros assume especial importância a experiência e a organização das equipas de projecto e de construção, os conhecimentos científicos das entidades envolvidas, as revisões do projecto, o controlo da construção, as inspecções e as

actividades resultantes da observação. Com vista à diminuição dos erros humanos impõe-se a implementação de algumas medidas: (i) aumentar a educação profissional dos intervenientes; (ii) propiciar um bom ambiente de trabalho; (iii) reduzir a complexidade das tarefas; (iv) seleccionar pessoal especializado; (v) aplicar medidas de auto-verificação; (vi) implementar medidas de verificação e de inspecção externas e (vii) aplicar sanções (legais ou outras).

Um *acidente* é um evento raro que ocorre sempre que um acto inseguro consegue vencer as defesas do sistema. Os acidentes constituem o “segundo pé” do *TRIPOD* (Figura 15). Verifica-se que onde há uma actividade humana é impossível não existir qualquer tipo de risco (*risco zero*), prevalecendo sempre o risco de combinações imprevisíveis de oportunidade e de risco. Idealmente, uma organização intrinsecamente segura seria capaz de resistir a eventos ocasionais totalmente inesperados. A existência de aleatoriedade implica que, mesmo em organizações com uma política de segurança rigorosa, possam ocorrer sérios acidentes.

O principal conceito do *TRIPOD* é que os acidentes têm suas origens primárias nas falhas latentes e não nas falhas humanas activas. As falhas activas são aquelas que têm um efeito imediato na ocorrência do acidente. As falhas latentes, por outro lado, são decisões ou acções tomadas por outros níveis da organização, que, por não produzirem necessariamente e de imediato um acidente, não são facilmente identificáveis. Para encontrar uma falha latente, por vezes há vários anos presente na organização, é necessário uma demorada e detalhada investigação. Estas falhas latentes são os *Tipos Gerais de Falhas* (o terceiro “pé” do *TRIPOD*).

Este método permite uma investigação minuciosa dos acidentes, identificando os mecanismos de falhas latentes que os geraram. Através desta técnica, pode-se chegar às decisões que conduziram às falhas na organização. A técnica de análise consiste no uso do método da causalidade de acidentes do *TRIPOD* para a elaboração das árvores de acidentes, que auxiliam na determinação das fraquezas e das raízes causais de modo eficiente e rápido, partindo do acidente (presente) em direcção às decisões dos dirigentes (passado). A peça fundamental para o início do processo de investigação e análise é o relatório do acidente, que deve ser elaborado dentro de padrões pré-definidos, de forma a tornar mais fácil e objectiva a investigação.

O fluxograma associado à aplicação do método é apresentado na Figura 16.

Como vantagens da aplicação do método *TRIPOD* podem-se enumerar o levantamento das deficiências de actuação da empresa, a localização das falhas, facilitando o seu tratamento, e a possibilidade de serem pró-activos, através da eliminação dos *Tipos Gerais de Falhas* identificados e das decisões administrativas ou de gestão que criaram o cenário inicial para a ocorrência do acidente.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento sustentável pressupõe que os problemas potenciais que possam ter reflexo na Sociedade, no presente ou no futuro, devam ser identificados e sejam tomadas

medidas para a minimização das suas consequências. As abordagens de gestão de risco são, neste contexto, uma ferramenta muito útil, uma vez que equacionam, de um modo científico, esta problemática.

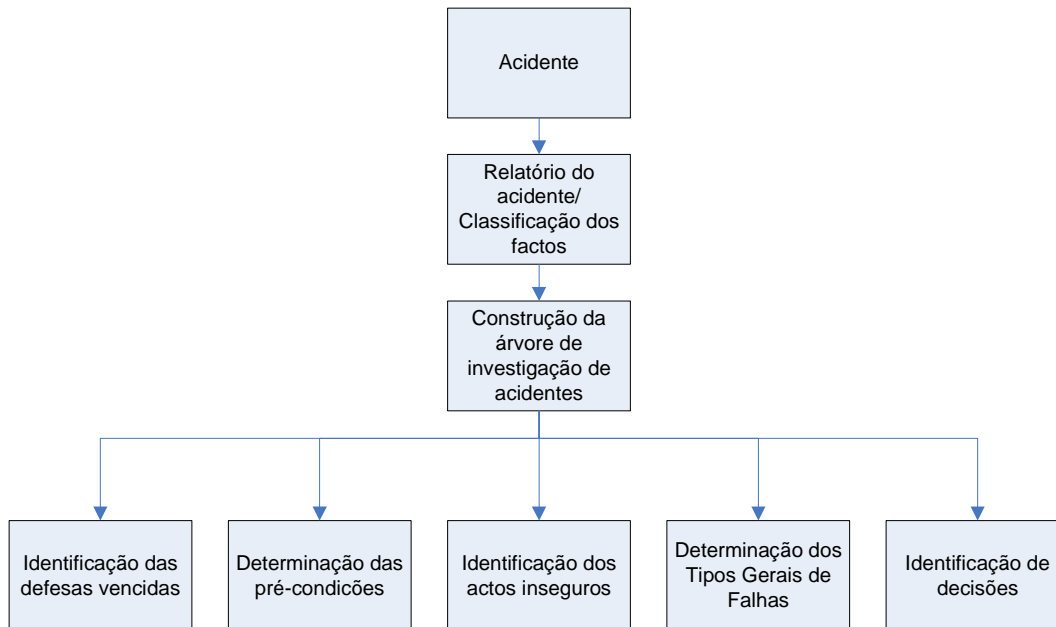


Figura 16 - Fluxograma de uma árvore de investigação de acidente

Neste contexto, as investigações de acidentes apresentam-se como uma ferramenta muito útil para identificar as sequências de eventos e todos os factores causais que influenciam o cenário de acidente, de modo a permitir a concepção de medidas de redução de risco úteis na prevenção de acidentes futuros. A experiência retirada de acidentes mostra que os maiores acidentes quase nunca são o resultado de uma única causa, pelo contrário, envolvem factor causais múltiplos e inter-relacionados, podendo os cenários de acidente ser também induzidos, directa ou indirectamente, por todos os factores que influenciam o processo normal de trabalho.

No entanto, a apreciação e a gestão do risco e a investigação de acidentes são processos muito complexos, a desenvolver por equipas multidisciplinares, segundo metodologias científicas adequadas. Quando realizadas com menor cuidado, podem produzir resultados muito duvidosos e até enviesados.

Com este propósito, a U. K. Health and Safety Executive (citado por Hartford, 2008) financiou uma investigação sobre as boas práticas e as armadilhas da apreciação do risco, tendo detectado, em alguns casos, os seguintes problemas e equívocos:

- levar a cabo uma apreciação de risco para tentar justificar uma decisão já tomada;

- utilizar uma apreciação genérica, quando seria necessário adoptar uma apreciação específica;
- levar a efeito uma apreciação detalhada e quantificada do risco, sem previamente verificar se qualquer boa prática relevante seria aplicável ou quando esta boa prática existe;
- levar a efeito uma apreciação de risco usando uma boa prática inadequada;
- tomar decisões com base em estimativas de risco individuais, quando seria apropriada o recurso ao risco societal;
- apenas considerar o risco de uma actividade;
- dividir o tempo dispendido numa actividade perigosa por vários indivíduos – abordagem de divisão em fatias para a estimativa do risco;
- não envolvimento de uma equipa na apreciação e não inclusão dos funcionários com conhecimento prático do processo/actividade em apreciação;
- recurso ineficaz a consultores;
- falha na identificação de todos os perigos associados com uma actividade particular;
- falha na consideração de todos os resultados possíveis;
- uso inadequado de dados;
- definição inapropriada de uma amostra representativa de eventos;
- uso inapropriado de critérios de risco;
- não consideração do ALARP ou outras medidas que pudessem ser implementadas;
- uso inapropriado de análises custo-benefício;
- uso de argumentos inversos ao princípio ALARP (utilizando análises custo-benefício para tentar argumentar que é aceitável reduzir as normas de segurança existentes);
- não fazer nada com os resultados da apreciação;
- não ligar os perigos com os controlos do risco.

Será, assim, muito útil o desenvolvimento de toda e qualquer apreciação de risco, desde que devida documentada e com as metodologias e pressupostos explicitados, permitindo a conferência e a revisão por pares, e, deste modo, conferindo responsabilidade aos analistas e transparência ao processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Baecher, G. B. & Christian, J. T. (2003). “Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering”, John Wiley & Sons Ltd, England, UK, p.568.
- Bacon, J. (1999). “Forum Engelberg – Risks and Safety”. UK Health and Safety Executive.
- Caldeira, L. (2008). “Análises de Riscos em Geotecnia. Aplicação a Barragens de Aterro”, LNEC, TPI, ISBN: 978-972-49-2157-0, p. 266.
- Clough, G. W. (2000). “Civil Engineering in the Next Millenium, CEE New Millenium Colloquium, MIT Department of Civil and Environmental Engineering.
- DOE (1999). “Conducting Accident Investigations”, DOE Workbook, Revision 2, US Department of Energy, Washington, DC, USA.
- Hartford, D. & Baecher, G. (2004). “Risk and Uncertainty in Dam Safety”. Thomas Telford Lda, London, UK, p. 375.
- Harford, D. (2008). “Science – Management of Civil Asset Risk. Objectives, Principles, Process and Analytical Techniques”, Risk Management in Civil Engineering Advance Course, LNEC, p. 106.
- Lee, E. & Jones, D. (2004). “Landslide Risk Assessment”, Thomas Telford, London, UK, p. 441.
- Maranha das Neves, E. (2005). “Abordagens do Risco em Engenharia”, Seminário sobre desenvolvimento sustentável, Território, IST.
- Miranda, V., Cabral, S. & Haddad, A. (2002). “TRIPOD: uma ferramenta de identificação e análise de riscos baseada nos acidentes”, *Revista Ação Ergonómica*, Volume 1, número 3, pp. 9-20.
- Parker, D., Reason, J. T., Manstead, A. S. & Stradling, S. G. (1995). “Driving Errors, Driving Violations and Accident Involvement”, *Ergonomics*, vol.38, no 5, pp. 1036-1048.
- Paté-Cornell, M. E. (1993). “Learning from the piper alpha accident: a postmortem analysis of technical and organizational factors”, *Risk Analysis*, vol. 13, No. 2.
- Pimenta, L. (2009). “Abordagens de Riscos em Barragens de Aterro”, Tese de Doutoramento, IST, Lisboa, p. 534.
- Reason, J. (1997). “Managing the Risks of Organizational Accidents”, Ashgate, England, ISBN 1 84014 105 0.
- Reason, J. T. (2004) “Managing the Risks of Organizational Accidents”. RMC V, Cleveland, USA.
- Shell (1995^a). “TRIPOD - Visão gerencial global”. Vol. I, Shell.
- Shell (1995^b). “TRIPOD – Guia do Usuário”. Vol. II, Shell.
- Sklet, Snorre (2004). “Comparison of some selected methods for accident investigation”, *Journal of Hazardous Materials*, 111, pp. 29–37.
- Wagenaar, W. A. & Reason, J. T. (1990). “Types and tokens in road accident causation”, *Ergonomics*, vol. 33, nº S 10/11, pp. 1365-75.
- United Kingdom Government (1999). “Professional policy making for the twenty first century”. Cabinet Office, Strategic Policy Making Team (SPMT).

United Kingdom Health and Safety Executive (2001). "Reducing Risks, Protecting People". HSE Books.