

AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE PONTES EXISTENTES — PROPOSTA DE METODOLOGIA

Luciano Jacinto¹, Luís Canhoto Neves² e Luís Oliveira Santos³

¹Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, ADEC, Rua Conselheiro Emídio Navarro 1, 1959-007, Lisboa, Portugal

email: ljacinto@dec.isel.ipl.pt <http://www.isel.pt>

² Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL, DEC, 2829-516 Caparica, Portugal

³ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, DE-NOE, Avenida do Brasil 101, 1700-066, Lisboa, Portugal

Sumário

A avaliação da segurança de pontes existentes tem merecido uma atenção crescente por parte de muitos países. Vários organismos internacionais têm desenvolvido trabalho de investigação nesta área de que tem resultado diferentes recomendações. Com bases nessas recomendações e na própria experiência dos autores apresenta-se uma proposta de metodologia para a avaliação da segurança de pontes existentes. Esta metodologia assenta da definição de várias etapas de avaliação de complexidade crescente, no sentido de otimizar o custo da avaliação e os seus resultados.

Palavras-chave: Pontes existentes; avaliação da segurança; fiabilidade; reabilitação.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento acentuado dos parques de obras de arte integrados nas redes de infra-estruturas de transportes associado ao seu progressivo envelhecimento, tem conferido à conservação destas obras uma importância crescente a nível internacional [9 a 12], quer pelos elevados encargos directos e indirectos associados, quer pela ocorrência, ainda que esporádica, de acidentes graves, com enormes consequências humanas, sociais, económicas e políticas. A progressiva consciencialização desta situação tem levado os donos de obra a recorrer à realização de inspecções periódicas, enquadradas por sistemas de gestão de obras de arte, que constituem poderosas ferramentas de apoio à afectação dos recursos disponíveis para tarefas de manutenção ou de conservação.

A avaliação da segurança de uma ponte torna-se necessária quando surgem dúvidas sobre a sua capacidade resistente, designadamente na sequência da degradação da sua condição, geralmente detectada no decurso de uma inspecção periódica, ou após a ocorrência de um acidente extremo, como um sismo, um incêndio ou a colisão de um veículo circulante sobre ou sob a obra de arte com os seus elementos estruturais.

Com base nas recomendações de organizações internacionais e na própria experiência dos autores, apresenta-se uma proposta de metodologia para a avaliação da segurança de pontes existentes. Começa-se por analisar as diferenças entre o dimensionamento de uma ponte nova e a avaliação da segurança de uma ponte existente, após o que se inclui uma revisão crítica das principais recomendações de algumas organizações internacionais e projectos de investigação europeus. Apresenta-se então uma proposta de metodologia e finalmente resumem-se as principais conclusões.

2 DIMENSIONAMENTO VERSUS AVALIAÇÃO

Dimensionar uma ponte nova ou avaliar a segurança de uma ponte existente são duas actividades que apresentam diferenças importantes [1]. Entre essas diferenças, podem-se mencionar:

(1) Incrementar a fiabilidade de uma estrutura existente tem em geral um custo muito superior a um incremento idêntico da fiabilidade de uma estrutura ainda em projecto. Por outras palavras, e de acordo com [2], é muito mais simples adicionar um varão a uma ponte que está ainda no estirador do que adicioná-lo depois da ponte

construída. Isto significa que uma postura conservadora, em geral aceitável na fase de dimensionamento, pode não ser apropriada na fase de avaliação.

(2) Algumas das incertezas existentes na fase de dimensionamento (reflectidas nos regulamentos para estruturas novas) podem ser reduzidas na fase de avaliação por meio de campanhas de testes e consulta de certificados de qualidades dos materiais empregues na construção. Essa diminuição de incerteza pode justificar uma redução dos factores de segurança sem alterar os índices de fiabilidade implícitos nos regulamentos para estruturas novas.

(3) O tempo de vida útil de uma estrutura existente (vida útil residual) pode ser inferior à vida útil de projecto de uma estrutura nova. Se for esse o caso há legitimidade para baixar os valores característicos das acções variáveis que actuam na estrutura, em relação aos valores que foram usados no dimensionamento [3].

Em vista das diferenças mencionadas, podemos concluir que há necessidade de desenvolver regulamentação específica para avaliação da segurança de pontes existentes. Alguns países já dispõem de tal regulamentação, como é o caso do Canadá. O regulamento desse país para projecto de pontes [4] dispõe de uma secção (secção 14) destinada especificamente a pontes existentes. O comentário a esse regulamento [5] refere explicitamente: «O custo de reabilitação ou substituição de uma ponte pode ser grande. A Secção 14 oferece um método de avaliação, especificando níveis de segurança consistentes e apropriados para a ponte ou componente da ponte em avaliação. A intenção é evitar algum do conservadorismo que, em favor da simplicidade, pode ter sido incorporado nas disposições para o dimensionamento». No entanto há ainda um número significativo de países, como é o caso de Portugal, que não dispõe de qualquer regulamentação ou documento oficial com linhas orientadores para a avaliação da segurança de pontes existentes.

O facto do custo de obras de reabilitação (aumento ou reposição da segurança original) poder ser significativo, como reconhece o regulamento citado acima, obriga a tratar o problema da avaliação da segurança com o devido rigor. É apropriado questionar se os valores característicos e factores de segurança especificados na regulamentação para estruturas novas reflectem correctamente as incertezas quando se avalia a segurança de uma ponte existente. Como mencionado acima, as incertezas alteram-se quando se passa de uma ponte potencial (ponte ainda em concepção) para uma ponte real. Para lidar com incertezas dispõe-se da teoria das probabilidades. Não admira pois que alguns países encorajem o uso de ferramentas probabilísticas em avaliações estruturais, como é o caso do Canadá [5] e da Dinamarca [6]. Na Dinamarca relatam-se vários casos de pontes que foram classificadas como inseguras pela aplicação dos métodos tradicionais mas que apresentavam níveis de fiabilidade suficientes, o que se traduziu em poupanças financeiras significativas [7].

No texto que segue irá usar-se a expressão «avaliação estrutural» com o significado de «avaliação da segurança de uma estrutura existente». Os termos reparação e reforço serão usados com o sentido de repor, respectivamente, a condição e a segurança a níveis aceitáveis. O termo reabilitação é usado em geral com ambos os sentidos, isto é, reposição de condição ou reposição de segurança.

3 REVISÃO CRÍTICA DE RECOMENDAÇÕES DE ORGANIZAÇÕES INTERNACIONAIS

3.1 International Organization for Standardization (ISO)

A ISO 13822 “*Bases for design of structures — Assessment of existing structures*” [1] recomenda, para a avaliação de estruturas existentes o procedimento esquematizado na Figura 1.

Conforme se observa, a avaliação inicia-se com a especificação dos objectivos, função das razões que levam à realização da avaliação. Segue-se a identificação de cenários susceptíveis de porem em causa a segurança de pessoas e bens. Estes cenários, segundo a referida norma, constituem a base para a avaliação estrutural em causa. Cada cenário é caracterizado por um processo dominante (acção ou outra influência) e por processos acompanhantes (outras acções ou outras influências).

A fase seguinte consiste na realização de verificações preliminares, podendo-se já nesta fase tomar acções imediatas. No final fazem-se recomendações para a fase seguinte que consiste numa avaliação detalhada, caso se justifique. A avaliação detalhada, caso a avaliação anterior não seja conclusiva, inclui um estudo pormenorizado de documentação e a realização de uma inspecção detalhada, com realização eventual de ensaios. Elabora-se então um relatório e tiram-se as principais conclusões. Se a fiabilidade da estrutura for suficiente, a obra

insere-se novamente no programa de inspeções e manutenção periódicas; caso contrário, é necessária uma intervenção, que poderá incluir o reforço da estrutura, alteração do seu uso, a implementação de um sistema de monitorização, ou, como medida mais drástica, a demolição da estrutura e sua substituição por uma nova.

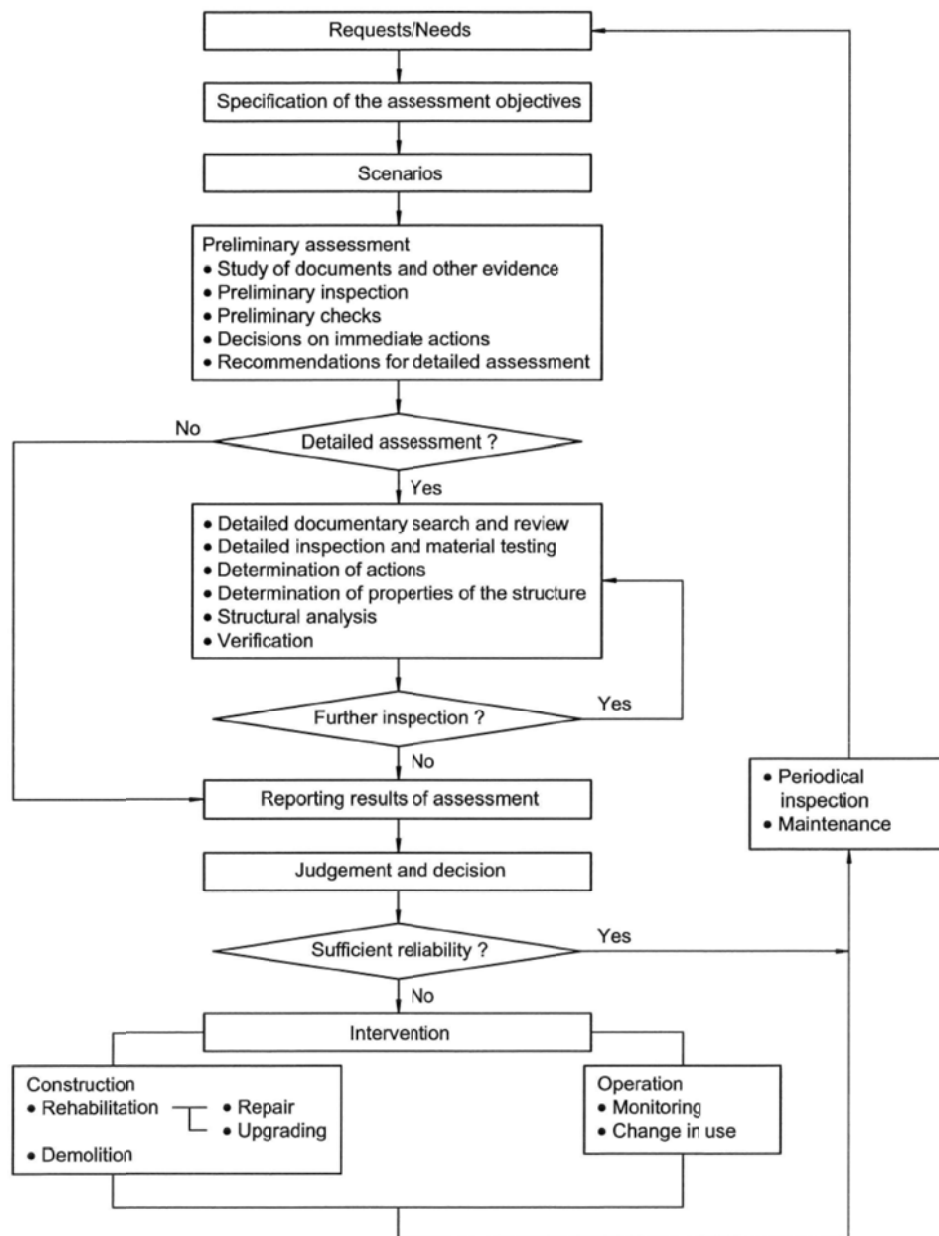


Fig.1. Procedimento recomendado pela ISO para avaliações da segurança de estrutura existentes [1]

3.2 Joint Committee on Structural Safety (JCSS)

O *Joint Committee on Structural Safety* (JCSS) publicou o *Probabilistic Assessment of Existing Structures* [8], que constitui outra referência importante na área da avaliação estrutural. Este documento recomenda uma abordagem em três fases, como esquematizado na Figura 2. Cada fase inicia-se com a realização de um contrato entre o dono de obra e o consultor e termina com um relatório.

A fase I consiste na realização de uma avaliação preliminar recorrendo a modelos simples, com a finalidade de confirmar ou remover as dúvidas iniciais. É feita uma visita ao local e procede-se a uma revisão da documentação relevante existente (projecto, regulamentos usados no projecto, registos de obra, inspecções anteriores, entre outros).

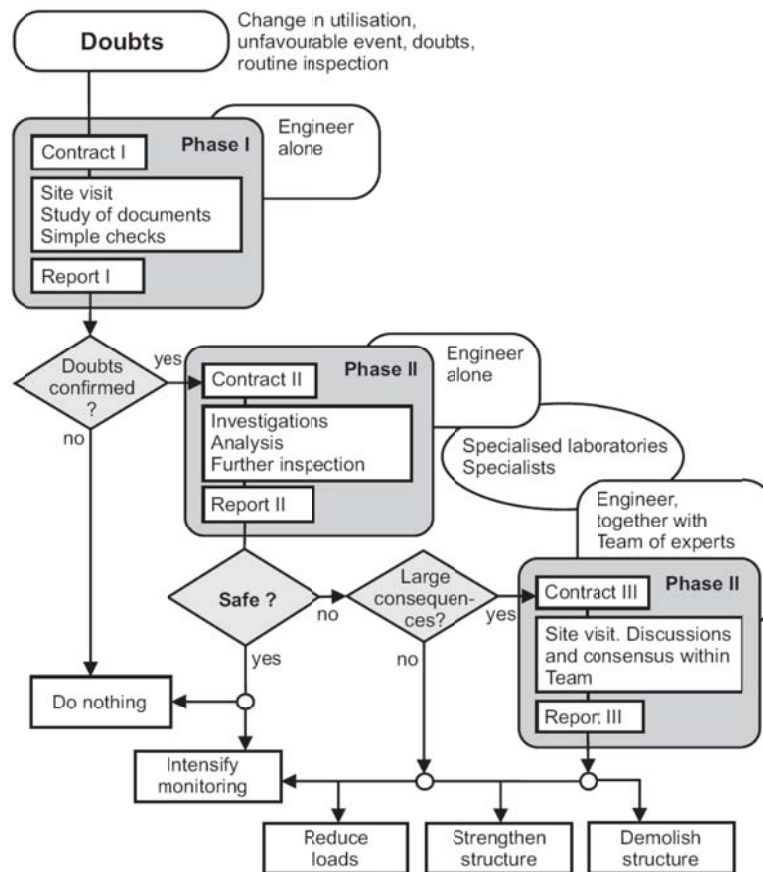


Fig.2. Procedimento recomendado pela JCSS para avaliações estruturais [8]

Se as dúvidas iniciais permanecerem, passa-se à fase II que consiste na realização de uma inspeção cuidadosa, que pode incluir a execução de ensaios de campo. É feita uma análise refinada da estrutura, incluindo eventualmente o uso de ferramentas probabilísticas.

Se nesta fase se concluir que a estrutura não satisfaz os critérios de segurança, as decisões a tomar poderão incluir o reforço da estrutura, a implementação de alguma medida que permita limitar as sobrecargas (redução do n.º de vias, por exemplo), a intensificação da monitorização ou ainda, como medida mais drástica, a demolição da estrutura e sua substituição por uma nova.

No entanto para estruturas de elevada importância (económica, patrimonial, ou outra) deve-se passar à fase III antes de se tomarem decisões finais. A fase III consiste na constituição de uma equipa de especialistas de várias áreas de sensibilidade. Após um consenso entre os diferentes especialistas tomam-se as decisões finais.

3.3 Projectos de investigação europeus

Refere-se de seguida algumas das principais conclusões de projectos de investigação financiados por fundos europeus, designadamente o projecto BRIME [9]. Este projecto e outros que lhe seguiram, nomeadamente a acção COST 345 [10] e o projecto SAMARIS [11], recomendam que uma avaliação estrutural seja feita por níveis de complexidade crescente, começando pelo nível 1 (o mais simples) e podendo chegar até ao nível 5 (o mais avançado). Os níveis de complexidade crescente incluem refinamentos ao nível dos modelos de acções e

resistência, ao nível dos modelos de cálculo e ao nível dos formatos de verificação da segurança. O quadro 1 sintetiza as características essenciais de cada um destes níveis.

Quadro 1. Níveis de avaliação da segurança propostos pelo projecto BRIME [9]

Nível	Modelos de resistência e acções	Modelos de cálculo	Formato de verificação da segurança
1	Como definido nos regulamentos em vigor.	Modelos simples. Regime elástico linear.	Método dos factores parciais de segurança, com os coeficientes iguais aos do dimensionamento.
2			
3	Modelos de acções e resistência a partir de ensaios.	Modelos refinados. Pode-se redistribuir esforços, dentro dos limites da ductilidade da estrutura.	Modificação dos coeficientes de segurança.
4			
5	Modelos probabilísticos para todas as variáveis.		Análise puramente probabilística.

Refere-se também o projecto SUSTAINABLE BRIDGES [12], também financiado por fundos europeus e dedicado especificamente a pontes ferroviárias. A Figura 3 sintetiza na forma de um fluxograma o procedimento recomendado por esse projecto [13]. Este procedimento constitui uma versão melhorada da proposta da JCSS, pelo que será um bom ponto de partida para elaborar uma proposta para o caso português.

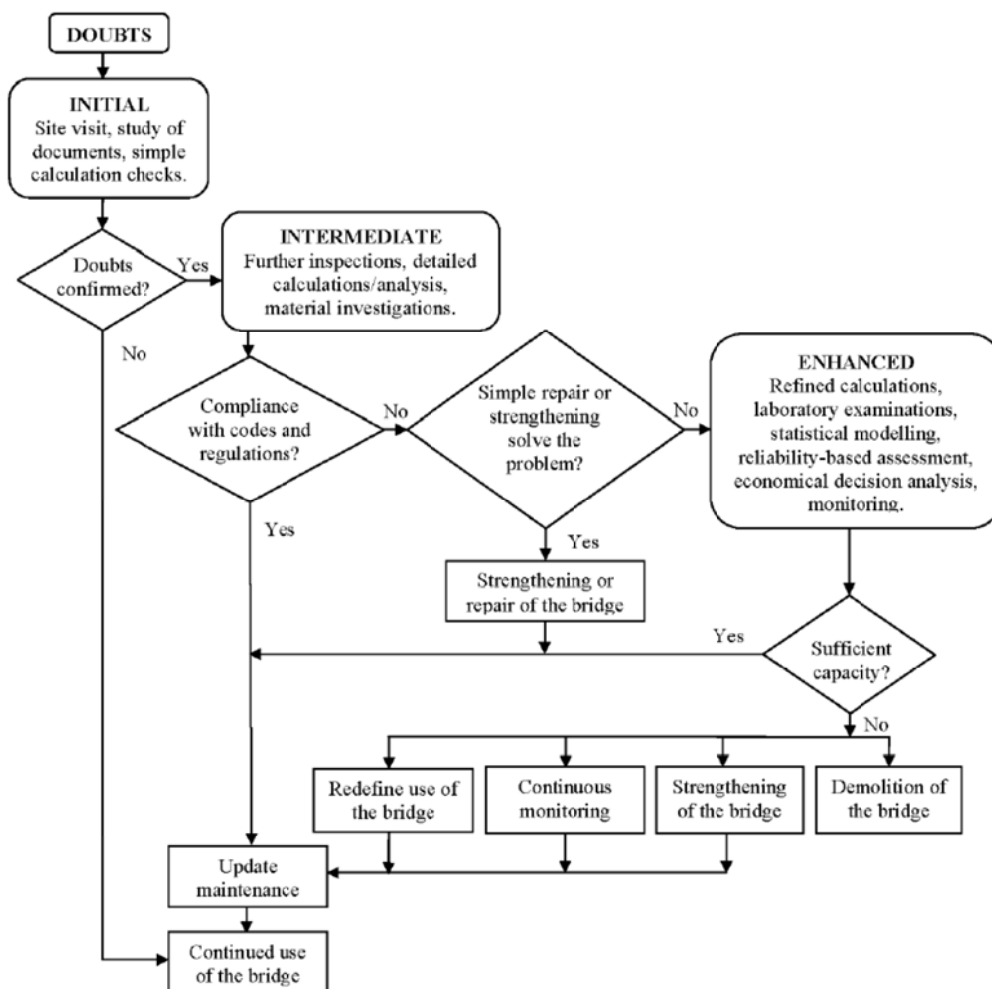


Fig.3. Procedimento recomendado pelo projecto SUSTAINABLE BRIDGES [13]

De acordo com o fluxograma apresentado, se no final da fase intermédia se constatar que a ponte não cumpre as disposições regulamentares e se verificar que reparações ou reforços simples resolvem o problema, opta-se pelo reforço da ponte sem passar para a última fase. Deve-se admitir porém que em geral não existem soluções de reforço simples, além de serem geralmente bastante onerosas. Por isso julga-se mais apropriado questionar nesta fase (estamos a admitir que a ponte não cumpre os critérios tradicionais de segurança) se a opção pelo reforço da estrutura (antes de passar fase à fase 3) é ou não relativamente consensual. Poderá haver situações onde a solução de reforço é uma opção natural, por exemplo nos casos em que a estrutura necessita de trabalhos de reparação e a opção pelo reforço surge como oportunidade. Mas em muitas situações é vantajoso passar à fase 3 — fase que se caracteriza pelo emprego de métodos probabilísticos de fiabilidade. Como se disse anteriormente, muitas pontes que não cumprem os critérios de segurança para pontes novas apresentam níveis de fiabilidade aceitáveis.

4 METODOLOGIA PROPOSTA

Com base nas considerações feitas nas secções anteriores apresenta-se de seguida uma proposta de metodologia para avaliação da segurança de pontes existentes. Em primeiro lugar, julga-se que a subdivisão do processo em 3 fases, como proposto pela JCSS [8], é equilibrada e racional. No entanto, como proposto pelo projecto SUSTAINABLE BRIDGES [12], considera-se adequado que a aplicação de formatos de segurança puramente probabilísticos seja reservada apenas para a fase 3. Propõe-se pois o seguinte procedimento.

Início. Uma avaliação estrutural deve iniciar-se com a especificação clara dos objectivos da avaliação, que em geral são uma consequência natural dos motivos que desencadearam a realização da avaliação. Frequentemente as avaliações estruturais são realizadas por existirem dúvidas sobre o real estado de segurança da ponte (ou pontes) em apreço. Se possível deve fixar-se também o período de vida residual para a ponte em avaliação pois isso influi nos valores característicos das acções variáveis. Se o período de vida residual não puder ser estabelecido, deve adoptar-se o período de referência típico de estruturas novas (50 ou 100 anos). No início deve ser feita também uma visita ao local. Cumpridas as etapas iniciais, passa-se à fase 1, que consiste numa análise preliminar da segurança.

Fase 1 — Avaliação preliminar. Nesta fase efectua-se verificações sumárias de segurança. Usam-se modelos simples e recorre-se à informação disponível, como seja o projecto da ponte, caderno de encargos, registos de obra e resultados de eventuais inspecções anteriores. Emprega-se o método dos coeficientes parciais de segurança preconizados na regulamentação aplicável. Esta é uma importante fase, não só porque fornece uma primeira indicação do estado de segurança da ponte, mas também porque indica os pontos críticos da ponte em avaliação, que poderão ser objecto de análise mais refinada nas fases subsequentes. A fase termina com a produção de um relatório, onde se discriminam as principais conclusões. Se as dúvidas iniciais forem dissipadas, o processo termina. Se não, o relatório deve indicar as acções a realizar na fase seguinte, incluindo a proposta de realização de ensaios específicos julgados pertinentes.

Fase 2 — Avaliação intermédia. Nesta fase empregam-se modelos estruturais mais refinados, incluindo o uso de modelos não lineares, com redistribuição parcial ou total de esforços (análise plástica). Os resultados dos ensaios experimentais eventualmente realizados devem ser utilizados a fim de melhor caracterizar as variáveis básicas do problema (propriedades dos materiais e acções). Os critérios de segurança continuam a basear-se no método dos coeficientes parciais de segurança (formato de nível I). No entanto nesta fase pode-se equacionar a possibilidade de alterar os coeficientes de segurança recorrendo aos dados disponíveis e utilizando os coeficientes de sensibilidade preconizados no anexo C do Eurocódigo 0 (EC0) [14]. Se no final da fase 2 não for possível justificar a segurança e se, além disso, a decisão de reforço da ponte (aumento da sua segurança) for relativamente consensual entre o consultor e o dono de obra, o processo termina, emitindo-se o relatório final que aponta então para a decisão de reforçar a ponte. Se, pelo contrário, eventual solução de reforço for muito onerosa, deve-se passar à fase seguinte, que explora a aplicação de formatos de segurança de nível II ou nível III, previstos no EC0 [14]. No caso de pontes de grande importância (económica, patrimonial, ou outra) pode eventualmente justificar-se uma análise de risco, em geral considerada como formato de nível IV [15].

Fase 3 — Avaliação probabilística. Esta fase, como se disse acima, constitui uma aplicação directa de métodos probabilísticos, os quais abandonam o conceito de coeficiente de segurança. Estes métodos permitem, em princípio, uma avaliação mais racional e realista da segurança da ponte, já que permitem modelar explicitamente as diferentes fontes de incerteza, que são específicas da ponte concreta em avaliação. No entanto, considerando

que os problemas de fiabilidade são muito sensíveis à forma e peso das caudas das distribuições (cauda superior no caso das acções e cauda inferior no caso das resistências), estes devem ser convenientemente justificados. Em geral é possível encontrar na bibliografia da especialidade recomendações para os modelos probabilísticos das principais variáveis do problema [6, 15, 19]. Recomenda-se também que após a estimativa da fiabilidade da ponte seja sempre feita uma análise de sensibilidade. A análise de sensibilidade indica quais as variáveis que tiveram maior impacto na fiabilidade estimada, sugerindo assim quais as variáveis a privilegiar caso se opte por recolher informação adicional (realização de novos ensaios, por exemplo). Se o problema em questão for muito sensível a algumas variáveis deve-se analisar as razões para essa sensibilidade [16].

O fluxograma que se apresenta na Figura 4, que constitui uma versão ligeiramente alterada da proposta do projecto SUSTAINABLE BRIDGES, sintetiza os comentários acima.

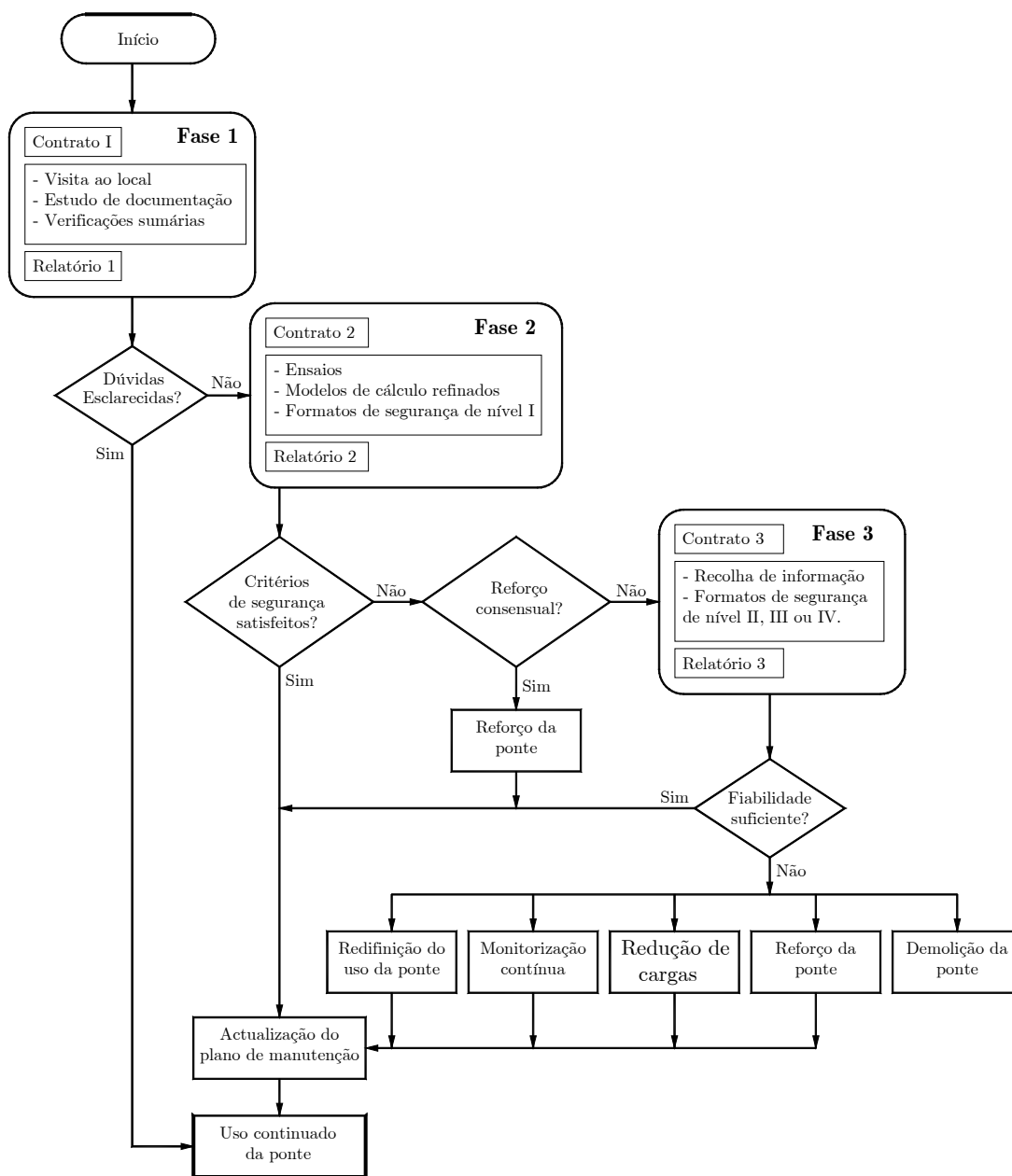


Fig.4. Proposta de metodologia para avaliações estruturais

Sempre que a estimativa de parâmetros de modelos probabilísticos seja feita a partir de amostras de dimensão reduzida colhidas da ponte em avaliação (ou de outras pontes semelhantes) a incerteza resultante da dimensão das amostras (incerteza estatística) deve ser tida devidamente em conta (a não ser que se demonstre que tal incerteza tem impacto mínimo na estimativa da fiabilidade), recomendando-se para esse efeito a abordagem Bayesiana. Na referência [17] encontram-se exemplos de como isto poderá ser feito.

Disse-se acima que na fase 2 e admitindo que se dispõe de informação estatística relevante de uma determinada variável básica do problema, colhida da ponte específica em avaliação, pode-se equacionar a possibilidade de alterar o coeficiente de segurança dessa variável sem alterar a fiabilidade pretendida para a ponte (especificada no regulamento de segurança que estiver a ser usado). A título de exemplo, suponha-se que se está a avaliar a segurança de uma ponte de caminho-de-ferro inserida numa linha muito particular (transporte de minério, por exemplo). Admita-se que se dispõe de uma amostra de pesos de vagões carregados de minério — amostra de máximos diários, por exemplo, observados durante um determinado período de tempo.

A partir desta amostra de máximos diários podemos escolher um determinado modelo probabilístico e estimar os respectivos parâmetros. Suponha-se que o modelo Gumbel é adequado. Admita-se agora que o período de vida residual é desconhecido, tendo sido decidido avaliar a segurança considerando um período de referência de 50 anos. É necessário pois obter a distribuição dos máximos de 50 anos, que continua a ter distribuição Gumbel, cujos parâmetros se obtêm facilmente dos parâmetros iniciais (máximos diários) [17]. Admita-se que a distribuição dos máximos de 50 anos tem parâmetros u e α (u coincide com a moda e α está relacionado com o desvio padrão). Analise-se então como se poderia obter o factor de segurança para a variável X em questão (peso dos vagões) consistente com um índice de fiabilidade $\beta = 3.8$, que é a fiabilidade recomendado pelo EC0 [14] para estados limites últimos.

Ora, designando por X_d o valor de dimensionamento de X e X_k o respectivo valor característico (valor com uma probabilidade de 0.05 de ser excedido no período de referência (50 anos), o coeficiente de segurança é definido por [18]:

$$\gamma_f = \frac{X_d}{X_k} = \frac{F_X^{-1}(\Phi(-\alpha_X \beta))}{F_X^{-1}(0.95)} \quad (1)$$

onde $F_X^{-1}(\cdot)$ representa a inversa da distribuição acumulada de X , $\Phi(\cdot)$ a distribuição acumulada da distribuição normal reduzida e α_X o coeficiente de sensibilidade da variável X . O ponto chave desta análise reside no valor a atribuir a este parâmetro. O EC0 [14] recomenda $\alpha_X = -0.7$ para acções determinantes do dimensionamento.

Considerando agora que a inversa da distribuição Gumbel é dada por:

$$F_X^{-1}(p) = u - (1/\alpha) \ln(-\ln p) \quad (2)$$

tem-se:

$$\gamma_f = \frac{u - (1/\alpha) \ln(-\ln(\Phi(-\alpha_X \beta)))}{u - (1/\alpha) \ln(-\ln 0.95)} \quad (3)$$

Considerando então $\beta = 3.8$ e $\alpha_X = -0.7$ tem-se finalmente:

$$\gamma_f = \frac{u + 5.543/\alpha}{u + 2.970/\alpha} \quad (4)$$

Esta fórmula pode ser expressa em termos da média μ e do desvio padrão σ , considerando as seguintes relações:

$$u = \mu - \frac{\sqrt{6}}{\pi} \gamma \sigma; \quad \frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma; \quad \gamma = 0.75522 \quad (5)$$

obtêm-se:

$$\gamma_f = \frac{\mu + 3.733 \sigma}{\mu + 1.727 \sigma} \quad (6)$$

Por exemplo, suponha-se que a moda dos pesos máximos dos vagões em 50 anos é igual a 700 kN e que o desvio padrão é de 50 KN. Obtém-se $\gamma_f = 1.13$. Este factor de segurança inclui apenas a incerteza no valor da acção propriamente dita, isto é, não inclui a incerteza do modelo estrutural (modelo que transforma as acções nos seus efeitos), pelo que deve ser corrigido. De acordo com o EC0 [14], o coeficiente de incerteza do modelo, representada por γ_{sd} , varia entre 1.05 e 1.15. Considerando o valor de 1.15, que é o mais desfavorável, obtém-se $\gamma_f = 1.13 \times 1.15 = 1.30$. Este seria assim o coeficiente de segurança (a aplicar ao valor característico do peso dos vagões) consistente com os dados disponíveis e com um índice de fiabilidade de 3.8.

5 CONCLUSÕES

Uma avaliação estrutural deve realizar-se por etapas de complexidade crescente, não havendo, porém, muita vantagem em subdividir o processo em muitas etapas. Considera-se adequada a subdivisão do processo em apenas 3 fases: (1) avaliação preliminar; (2) avaliação intermédia e (3) avaliação puramente probabilística.

A utilização de ferramentas probabilísticas está prevista no EC0 e é encorajada em vários países com documentação específica para a realização de avaliações estruturais. Tem havido vários casos de pontes que foram classificadas como inseguras pela aplicação de regulamentos para pontes novas mas que apresentavam níveis de fiabilidade aceitáveis, evitando-se obras de reforço desnecessárias. Os fundos poupados poderão ser empregues de maneira mais eficiente em trabalhos de manutenção.

6 AGRADECIMENTOS

O primeiro autor agradece o apoio que tem recebido por parte do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, o acolhimento e estímulo por parte Laboratório Nacional de Engenharia Civil, onde parte deste trabalho foi compilado, e ainda o financiamento parcial por parte da Fundação para a Ciência e Tecnologia, através da bolsa SFRH/BD/45022/2008.

7 REFERÊNCIAS

1. ISO 13822, *Bases for design of structures — Assessment of existing structures*. International Organization for Standardization, Genève, 2001.
2. Vrouwenvelder, T., Assessment criteria for existing structures. *Structural Engineering International*, 17,62-65, 2010
3. Schneider, J., *Introduction to Safety and Reliability of Structures*. IABSE, SED 5, 2nd edn, 2006.
4. CAN/CSA-S6-00, *Canadian Highway Bridge Design Code*. Canadian Standards Association, Toronto, 2000.
5. CAN/CSA-S6-00b, *Commentary on CAN/CSA-S6-00, Canadian Highway Bridge Design Code*. Canadian Standards Association, Toronto, 2000.
6. Vejdirektoratet, Report 291: *Reliability-Based Classification of the Load Carrying Capacity of Existing Bridges*. Road Directorate, Ministry of Transport, Denmark, 2004.
7. Enevoldsen, I., Practical Implementation of Probability Based Assessment Methods for Bridges. *Actas do 1.º Congresso Nacional sobre Segurança e Conservação de Pontes*, Lisboa. Cruz, P., Mendonça, T., Neves, L., Santos, L. (eds.), 2009.

8. JCSS, *Probabilistic Assessment of Existing Structures*. RILEM Publications S.A.R.L., edited by D. Diamantidis, 2001.
9. BRIME, D14: *Final Report*. Bridge Management in Europe. IV Frame-Work program, Brussels, 2001, <http://www.trl.co.uk/brime/index.htm>.
10. COST 345, Working Groups 4 and 5: *Numerical techniques for Safety and Serviceability Assessment. Procedures Required for Assessment Highway Structures*. European Commission. Directorate General Transport, 2004, <http://cost345.zag.si>.
11. SAMARIS, Deliverable D19: *State of the Art Report on Assessment of Structures in Selected EEA and CE Countries*. Sustainable and Advanced Materials for Road Infrastructure — V Framework programme, 2006, <http://samaris.zag.si/>.
12. SUSTAINABLE BRIDGES, *Guideline for Load and Resistance Assessment of Existing European Railway Bridges*. Research Project “Sustainable Bridges - Assessment for Future Traffic Demands and Longer Lives”, European Commission, 6th Framework Programme, 2007, <http://www.sustainablebridges.net>.
13. Casas, J. R., Wisniewski, D. & Sloth, M., Upgrading existing railway bridges in Europe for higher speeds and loads — assessment procedures and requirements. *Proc. of the 17th Congress of IABSE, "Creating and Renewing Structures"*, Chicago, 2008.
14. NP EN 1990, *Eurocódigo – Bases para o projecto de estruturas*. IPQ, Instituto Português da Qualidade, Caparica, 2009.
15. Melchers, R. E., *Structural Reliability Analysis and Prediction*. John Wiley & Sons, Chichester, 2nd edn, 1999.
16. Ditlevsen, O. & Madsen, H. O., *Structural Reliability Methods*. Internet edition 2.2.5., 2005, <http://www.web.mek.dtu.dk/staff/od/books/OD-HOM-StrucRelMeth-Ed2.3.7-June-September.pdf>
17. Jacinto, L., *Avaliação da segurança de pontes existentes — Abordagem probabilística Bayesiana*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. Tese de doutoramento, 2011. <http://hdl.handle.net/10362/7601>.
18. Val, D. & Stewart, M. G., Safety factors for assessment of existing structures. *Journal of Structural Engineering*, 128, 258-265, 2002.
19. JCSS, *Probabilistic Model Code*. Joint Committee on Structural Safety, 2001. <http://www.jcss.ethz.ch>