



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

RELICONDAM – ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS DE BETÃO

Relatório de progresso 2015-2017 do projeto do P2I/LNEC

Lisboa • março de 2018

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 89/2018 – **DBB/Chefia**

Título

RELICONDAM – ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS DE BETÃO

Relatório de progresso 2015-2017 do projeto do P2I/LNEC

Autoria

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

António Lopes Batista

Investigador Principal, Diretor do Departamento

José Vieira de Lemos

Investigador-Coordenador, Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

Luís Nolasco Lamas

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Renato Miguel Rodrigues Pereira

Bolseiro de Doutoramento com Acolhimento no LNEC

NOTTINGHAM TRANSPORTATION ENGINEERING CENTRE, UNIVERSIDADE DE NOTTINGHAM

Luís Armando Canhoto Neves

Professor

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 89/2018

Proc. 0401/112/20366, 0402/112/2036601

RELICONDAM – ANÁLISE PROBABILÍSTICA DA SEGURANÇA ESTRUTURAL DE BARRAGENS DE BETÃO

Relatório de progresso 2015-2017 do projeto do P2I/LNEC

Resumo

Neste relatório apresenta-se, de forma sucinta, a descrição da atividade de investigação realizada no âmbito do projeto ReliConDam no período 2015-2017. Os resultados da atividade são analisados e avaliados, em face dos objetivos inicialmente previstos.

Palavras-chave: ReliConDam / Barragens de betão / Análise probabilística / Segurança estrutural

RELICONDAM- PROBABILISTIC ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SAFETY OF CONCRETE DAMS

Progress report 2015-2017 of the P2I/LNEC project

Abstract

A concise description is presented of the research activities undertaken in the ReliConDam project during 2015-2017. The results are analyzed and assessed, considering the initial goals of the project.

Keywords: ReliConDam / Concrete dams / Probabilistic analysis / Structural safety

Índice

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Introdução | 1 |
| 2 | Atividade desenvolvida..... | 2 |
| | 2.1 Considerações gerais | 2 |
| | 2.2 Descrição da atividade desenvolvida | 2 |
| | 2.3 Apreciação da atividade desenvolvida e proposta de extensão do projeto em 2018 | 5 |
| 3 | Divulgação de resultados | 8 |
| | 3.1 Artigos em revistas internacionais | 8 |
| | 3.2 Publicações em eventos técnico-científicos | 8 |
| | 3.2.1 Comunicações a congressos nacionais | 8 |
| | 3.2.2 Comunicações a congressos internacionais | 8 |
| | 3.3 Publicações do LNEC | 9 |
| | 3.3.1 Relatórios de investigação..... | 9 |
| | 3.3.2 Outros documentos de investigação | 9 |
| 4 | Indicadores de desempenho, recursos humanos mobilizados e financiamento | 10 |
| | 4.1 Indicadores de desempenho..... | 10 |
| | 4.2 Recursos humanos mobilizados | 10 |
| | 4.3 Financiamento | 11 |
| 5 | Considerações finais | 12 |

Índice de quadros

| | |
|--|----|
| Quadro 2.1 – Plano de trabalhos inicial do projeto de investigação ReliConDam..... | 3 |
| Quadro 2.2 – Proposta de revisão do plano de trabalhos do projeto de investigação ReliConDam..... | 6 |
| Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho | 10 |
| Quadro 4.2 – Afetação de recursos humanos do LNEC | 10 |
| Quadro 4.3 – Afetação de recursos humanos exteriores ao LNEC | 11 |

1 | Introdução

O projeto de investigação “Análise probabilística da segurança estrutural de barragens de betão”, com o acrónimo ReliConDam, destina-se, em primeiro lugar, a enquadrar os trabalhos de tese do bolseiro de doutoramento da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa (FCT/UNL), com acolhimento no LNEC (BDA), Renato Miguel Rodrigues Pereira, e, também, permitir o desenvolvimento de um tema de investigação de grande interesse para o LNEC, em particular para o Departamento de Barragens de Betão (DBB).

O projeto está integrado no Plano de Investigação e Inovação (P2I) do LNEC e tem enquadramento na matriz programática da Estratégia de Investigação e Inovação 2013-2020 (E2I), inserindo-se no eixo E4 (Risco e segurança) e na temática T8 (Desenvolvimento de competências e transferência de conhecimentos).

O BDA Renato Pereira iniciou os trabalhos de doutoramento em setembro de 2013 [R1]. O projeto ReliConDam foi submetido para aprovação no dia 23 de junho de 2015, através da informação nº 271 do DBB, propondo como data de início 1 de junho de 2015 e uma duração de 30 meses (até ao final de 2017). A apreciação da comissão de acompanhamento dos projetos do P2I/LNEC foi emitida, favoravelmente, em 10 de novembro de 2015. O Conselho Diretivo do LNEC aprovou o projeto em 27 de novembro de 2015, tendo-lhe sido atribuído o número de processo 0401/112/20366.

A equipa de investigação é constituída por: BDA Renato Pereira; IP António Lopes Batista, do DBB/Chefia, também Professor Associado convidado na FCT/UNL, orientador científico e responsável pelo projeto; Professor Luís Canhoto Neves, da Universidade de Nottingham, também orientador científico; IC José Vieira de Lemos, do DBB/NMMR; e IP Luís Nolasco Lamas, do DBB/NMMR. Houve ainda contributos para o projeto de outros investigadores, como adiante será referido.

Os estudos referentes à temática associada ao projeto de investigação iniciaram-se, como referido, em setembro de 2013. Devido a dificuldades de várias ordens, o projeto só foi formalizado nas datas atrás apontadas. A duração efetiva do desenvolvimento do tema, até ao final de 2017, foi de cerca de 4 anos. Devido ao atraso na conclusão da dissertação de doutoramento do BDA Renato Pereira, vai ser proposta a prorrogação do projeto até ao final de 2018.

O trabalho realizado teve financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia entre setembro de 2013 e setembro de 2017, ao abrigo da bolsa de doutoramento SFRH/BD/91131/2012 do BDA Renato Pereira.

2 | Atividade desenvolvida

2.1 Considerações gerais

O projeto de investigação pretende dar um contributo no estabelecimento de uma metodologia de avaliação da segurança estrutural de barragens de betão, nomeadamente a definição de critérios de verificação da segurança, através da utilização de coeficientes parciais de segurança definidos a partir da análise da fiabilidade estrutural.

As primeiras atividades prendem-se, naturalmente, com a caracterização estatística das incertezas envolvidas na segurança de barragens de betão, através da definição de distribuições de probabilidade de ações e resistências, recorrendo-se, para além dos elementos disponíveis na literatura técnica e científica afim, à informação disponível no LNEC resultante do acompanhamento e monitorização do comportamento deste tipo de estruturas.

Pretende-se fazer a calibração de coeficientes parciais de segurança, aplicando metodologias robustas de análise da fiabilidade estrutural a modelos de barragens de betão representativos de soluções padronizadas para as diferentes situações de projeto.

A análise estrutural dos modelos genéricos das barragens apoia-se no método do equilíbrio limite, sendo utilizados, complementarmente, modelos numéricos.

A determinação da probabilidade de rotura é baseada na teoria da fiabilidade estrutural. É usual considerar os métodos aproximados, designadamente os métodos FORM e SORM, no caso em que o estado limite é definido analiticamente (método do equilíbrio limite). No caso geral, poderá haver vantagem em recorrer a métodos de simulação para estimar a probabilidade de falha, de que é exemplo o método de Monte Carlo.

Afigura-se que o conhecimento associado ao desenvolvimento do projeto pode influenciar os critérios de projeto de barragens de betão e ser integrado em futuras revisões da regulamentação portuguesa de segurança de barragens.

2.2 Descrição da atividade desenvolvida

No Quadro 2.1 apresenta-se o plano de trabalhos inicialmente proposto na ficha do projeto.

Quadro 2.1 – Plano de trabalhos inicial do projeto de investigação ReliConDam

| Atividade | Designação da atividade | Tarefa | Designação da tarefa | 2º semestre 2015 | 1º semestre 2016 | 2º semestre 2016 | 1º semestre 2017 | 2º semestre 2017 |
|-----------|---|--------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | Pesquisa bibliográfica | T 1.1 | Pesquisa bibliográfica sobre métodos de análise da fiabilidade; | | | | | |
| | | T 1.2 | Pesquisa bibliográfica sobre modelos numéricos utilizados na análise estrutural de barragens de betão; | | | | | |
| | | T 1.3 | Pesquisa bibliográfica sobre trabalhos de análise da fiabilidade estrutural aplicada a barragens de betão. | | | | | |
| 2 | Modelação da incerteza | T 2.1 | Caracterização probabilística das subpressões nas fundações com base nos dados da monitorização contínua de barragens de betão, disponíveis no LNEC; | | | | | |
| | | T 2.2 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística das subpressões; | | | | | |
| | | T 2.3 | Caracterização probabilística do nível de água da albufeira, em condições normais de exploração, com base nos dados da monitorização contínua de barragens de betão, disponíveis no LNEC; | | | | | |
| | | T 2.4 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística do nível de água da albufeira em condições normais de exploração; | | | | | |
| | | T 2.5 | Caracterização probabilística das propriedades mecânicas do betão de barragens, com base nos resultados dos ensaios de provetes de betão de barragens portuguesas, a diferentes idades, disponíveis no LNEC; utilização de resultados, alguns disponíveis no LNEC, sobre a caracterização probabilística das propriedades dos maciços de fundação das barragens. | | | | | |
| | | T 2.6 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística das propriedades mecânicas do betão de barragens. | | | | | |
| 3 | Modelação do comportamento estrutural de barragens de betão | T 3.1 | Escolha da geometria de um conjunto de barragens que servirão como casos de estudo, do tipo gravidade e abóbada, dimensionadas de acordo com a experiência da engenharia portuguesa de barragens; | | | | | |
| | | T 3.2 | Definição de modelos de elementos discretos bidimensionais, no que respeita aos perfis das barragens gravidade, e tridimensionais, no que respeita às barragens abóbada. | | | | | |

Quadro 2.1 (continuação) – Plano de trabalhos inicial do projeto de investigação ReliConDam

| Atividade | Designação da atividade | Tarefa | Designação da tarefa | 2º semestre 2015 | 1º semestre 2016 | 2º semestre 2016 | 1º semestre 2017 | 2º semestre 2017 |
|-----------|--|--------|---|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 4 | Análise da fiabilidade estrutural | T 4.1 | Análise da fiabilidade estrutural dos perfis das barragens gravidade, considerando o método do equilíbrio limite, através de métodos de fiabilidade aproximados e métodos de simulação; | | | | | |
| | | T 4.2 | Análise da fiabilidade estrutural dos perfis das barragens gravidade, considerando o método dos elementos discretos, através de métodos de simulação; | | | | | |
| | | T 4.3 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre a análise da fiabilidade de barragens gravidade; | | | | | |
| | | T 4.4 | Análise da fiabilidade estrutural das barragens abóbada, considerando o método dos elementos discretos, através de métodos de simulação; | | | | | |
| | | T 4.5 | Submissão de um artigo científico em revista internacional com as principais conclusões da aplicação dos métodos de fiabilidade estrutural a barragens de betão. | | | | | |
| 5 | Definição de critérios de verificação da segurança | T 5.1 | Calibração dos coeficientes parciais de segurança e definição de uma metodologia de verificação da segurança com base nos resultados obtidos; | | | | | |
| | | T 5.2 | Submissão de um artigo científico em revista internacional com a verificação da segurança de uma barragem existente recorrendo à metodologia proposta. | | | | | |

Descreve-se sumariamente, de seguida, a atividade realizada em cada tarefa. Serão assinalados os desvios da atividade desenvolvida relativamente ao plano inicial.

A atividade 1 (pesquisa bibliográfica), contemplou a consulta de elementos e o estudo, como previsto, dos métodos de análise da fiabilidade (T1.1), dos modelos numéricos utilizados na análise estrutural de barragens de betão (T1.2) e dos trabalhos de análise da fiabilidade estrutural aplicada a barragens de betão (T1.3). A pesquisa foi concretizada, em grande medida, no 2º semestre de 2015 e no 1º semestre de 2016. No que toca aos modelos numéricos de análise estrutural de barragens de betão, para sedimentar e aplicar conhecimentos o BDA Renato Pereira participou nos estudos de análise do comportamento observado das barragens de Rebordelo e de Bouçoais-Sonim, que deram origem a dois relatórios dos quais é co-autor. Nos restantes três semestres efetuaram-se pesquisas bibliográficas complementares, sempre que o desenvolvimento dos estudos o justificou.

No âmbito da atividade 2 (modelação da incerteza), foram levadas a efeito as caracterizações probabilísticas de: i) subpressões nas fundações e nível de água na albufeira em condições normais de exploração, com base nos dados disponíveis no LNEC relativos à monitorização contínua de barragens de betão (T2.1 e T2.3); e ii) propriedades mecânicas do betão de barragens, com base nos resultados dos ensaios de provetes de betão de barragens portuguesas, a diferentes idades, e das propriedades dos maciços de fundação das barragens, a partir de resultados disponíveis no LNEC (T2.5). As tarefas T2.1 e T2.3 foram concretizadas, como previsto, no 2º semestre de 2015 e no 1º semestre de 2016. No que respeita à tarefa T2.3, foi submetido e aceite numa revista internacional um artigo científico sobre a caracterização probabilística do nível de água na albufeira em barragens

de betão em condições normais de exploração [A1] (a resposta a esta submissão demorou cerca de um ano e meio). A tarefa T2.5, prevista para decorrer nos dois semestres de 2016, acabou por se prolongar para o primeiro semestre de 2017 [R2], embora não tenha contemplado os maciços rochosos de fundação. No que respeita às tarefas T2.2 e T2.6, estão em preparação dois artigos científicos, a ser submetidos a revistas internacionais, sobre a caracterização probabilística das subpressões nas fundações de barragens de betão e das propriedades mecânicas do betão de barragens. Embora não tivesse sido prevista a divulgação de resultados em eventos científicos e técnicos, julgou-se oportuna a apresentação em congressos de comunicações sobre a caracterização probabilística das subpressões nas fundações e do nível de água na albufeira de barragens de betão [C2,C3] e das propriedades mecânicas do betão de barragens [C4,C5]. Foram também desenvolvidos estudos complementares no âmbito das distribuições beta [D1], em colaboração com o IC João Casaca. Em síntese, foram genericamente concluídas todas as tarefas previstas, exceto a submissão de dois artigos científicos. Os artigos estão praticamente concluídos, prevendo-se a sua submissão a curto prazo.

No que respeita às atividades 3 (modelação do comportamento estrutural de barragens de betão) e 4 (análise da fiabilidade estrutural), em 2016 foi tomada uma decisão importante, limitando-se os estudos a realizar às barragens gravidade. De facto, face aos objetivos da tese de doutoramento, considerou-se irrealista contemplar também o caso das barragens abóbada.

Na atividade 3, que decorreu efetivamente nos dois semestres de 2017 (teve assim um atraso de cerca de um ano), foi escolhida a geometria dos modelos de barragens gravidade que servirão como casos de estudo (T3.1) e usou-se o método dos blocos para quantificar a incerteza associada à utilização do método do equilíbrio limite para a análise da segurança de perfis gravidade. Este último estudo corresponde à redefinição da atividade T3.2.

Na atividade 4 (análise da fiabilidade estrutural) tem vindo a ser levada a efeito a análise da fiabilidade estrutural dos perfis das barragens gravidade, considerando o método do equilíbrio limite, através de métodos de fiabilidade aproximados e de métodos de simulação (T4.1). Estes estudos tinham tido desenvolvimentos em 2014 e no início de 2015 [C1,C6], mas decorreram principalmente durante 2017 [C7], prologando-se para o primeiro semestre de 2018. A tarefa T4.2 foi integrada na tarefa 4.1 e a tarefa T4.4 deixou de interessar, atendendo à redefinição das tarefas T3.2 e T3.1, respetivamente. Está prevista para 2018 a submissão de um artigo científico em revista internacional sobre a análise da fiabilidade de barragens gravidade.

A atividade 5 (definição de critérios de verificação da segurança) decorrerá em 2018.

2.3 Apreciação da atividade desenvolvida e proposta de extensão do projeto em 2018

A atividade desenvolvida decorreu, no essencial, dentro do âmbito previsto no projeto. Houve, como referido, a redefinição do conteúdo de algumas tarefas e atrasos na concretização das atividades 3, 4

e 5. Estes atrasos estão relacionados, em certa medida, com o tempo de cálculo consumido das análises numéricas dos modelos de blocos.

A redefinição do conteúdo das tarefas está relacionada com a decisão de não contemplar nos estudos as barragens abóbada, para se poder aprofundar o caso das barragens gravidade, e com a consideração do método dos blocos na quantificação da incerteza associada à utilização do método do equilíbrio limite na análise da segurança dos perfis gravidade.

Considera-se que as tarefas realizadas até ao final de 2017 cumpriram parcialmente os objetivos previstos na ficha projeto, pelo que se propõe a extensão do projeto para 2018. No entanto, foram superados alguns indicadores, nomeadamente os relativos às publicações de relatórios científicos e comunicações em congressos, como será detalhado nos capítulos seguintes. Entre as comunicações deve destacar-se a apresentada no 14th International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams [C7], promovido pela ICOLD em setembro de 2017 em Estocolmo, onde vários autores discutiram os resultados obtidos na análise da fiabilidade estrutural de uma barragem gravidade considerada como caso de estudo.

Apresenta-se, seguidamente, uma proposta de revisão do plano de trabalhos no que respeita à redefinição de algumas tarefas e ao prolongamento do projeto em 2018.

Quadro 2.2 – Proposta de revisão do plano de trabalhos do projeto de investigação ReliConDam

| Atividade | Designação da atividade | Tarefa | Designação da tarefa | 2º semestre 2015 | 1º semestre 2016 | 2º semestre 2016 | 1º semestre 2017 | 2º semestre 2017 | 1º semestre 2018 | 2º semestre 2018 |
|-----------|-------------------------|--------|--|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | Pesquisa bibliográfica | T 1.1 | Pesquisa bibliográfica sobre métodos de análise da fiabilidade; | | | | | | | |
| | | T 1.2 | Pesquisa bibliográfica sobre modelos numéricos utilizados na análise estrutural de barragens de betão; | | | | | | | |
| | | T 1.3 | Pesquisa bibliográfica sobre trabalhos de análise da fiabilidade estrutural aplicada a barragens de betão. | | | | | | | |

Quadro 2.2 (continuação) – Proposta de revisão do plano de trabalhos do projeto de investigação ReliConDam

| | | | | | | | | | | |
|---|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 2 | Modelação da incerteza | T 2.1 | Caracterização probabilística das subpressões nas fundações com base nos dados da monitorização contínua de barragens de betão, disponíveis no LNEC; | | | | | | | |
| | | T 2.2 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística das subpressões; | | | | | | | |
| | | T 2.3 | Caracterização probabilística do nível de água da albufeira, em condições normais de exploração, com base nos dados da monitorização contínua de barragens de betão, disponíveis no LNEC; | | | | | | | |
| | | T 2.4 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística do nível de água da albufeira em condições normais de exploração; | | | | | | | |
| | | T 2.5 | Caracterização probabilística das propriedades mecânicas do betão de barragens, com base nos resultados dos ensaios de provetes de betão de barragens portuguesas, a diferentes idades, disponíveis no LNEC; utilização de resultados, alguns disponíveis no LNEC, sobre a caracterização probabilística das propriedades dos maciços de fundação das barragens; | | | | | | | |
| | | T 2.6 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre o contributo para a definição probabilística das propriedades mecânicas do betão de barragens. | | | | | | | |
| 3 | Modelação do comportamento estrutural de barragens de betão | T 3.1 | Escolha da geometria de um conjunto de barragens gravidade que servirão como casos de estudo, dimensionadas de acordo com a experiência da engenharia portuguesa de barragens; | | | | | | | |
| | | T 3.2 | Utilização de modelos de elementos discretos bidimensionais, no que respeita aos perfis das barragens gravidade, para quantificação da incerteza associada à consideração do método do equilíbrio limite. | | | | | | | |
| 4 | Análise da fiabilidade estrutural | T4.1 | Análise da fiabilidade estrutural dos perfis das barragens gravidade, considerando o método do equilíbrio limite, através de métodos de fiabilidade aproximados e métodos de simulação; | | | | | | | |
| | | T4.2 | Submissão de um artigo científico em revista internacional sobre a análise da fiabilidade de barragens gravidade. | | | | | | | |
| 5 | Definição de critérios de verificação da segurança | T 5.1 | Calibração dos coeficientes parciais de segurança e definição de uma metodologia de verificação da segurança com base nos resultados obtidos; | | | | | | | |
| | | T 5.2 | Submissão de um artigo científico em revista internacional com a verificação da segurança de uma barragem existente recorrendo à metodologia proposta. | | | | | | | |

3 | Divulgação de resultados

3.1 Artigos em revistas internacionais

[A1] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Probabilistic model for the representation of the reservoir water level of concrete dams during normal operation periods.** Water Resources Management, Springer, 2018.

3.2 Publicações em eventos técnico-científicos

3.2.1 Comunicações a congressos nacionais

[C1] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Verificação da segurança ao deslizamento de barragens gravidade considerando a variabilidade das propriedades hidráulicas e mecânicas do maciço rochoso de fundação.** 5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa. 2014.

[C2] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Modelo probabilístico para a representação das subpressões nas fundações de barragens de betão.** Encontro Nacional Betão Estrutural 2016, Coimbra, 2-4 novembro de 2016.

[C3] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Modelo probabilístico para representação do nível de água na albufeira em análises de fiabilidade de barragens de betão.** Encontro Nacional Betão Estrutural 2016, Coimbra, 2-4 novembro de 2016.

[C4] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Quantificação das propriedades estruturais do betão de barragens. Parte 1 – Caracterização probabilística das propriedades potenciais a partir de resultados de ensaios.** Encontro Nacional Betão Estrutural 2016, Coimbra, 2-4 novembro de 2016.

[C5] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Quantificação das propriedades estruturais do betão de barragens. Parte 2 – Estimativa das propriedades reais a partir das propriedades potenciais.** Encontro Nacional Betão Estrutural 2016, Coimbra, 2-4 novembro de 2016.

3.2.2 Comunicações a congressos internacionais

[C6] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. - **Safety evaluation of concrete gravity dams sliding considering the variability of rock mass foundation hydraulic and mechanical properties.** 2nd Dam World Conference, LNEC, Lisboa, 2015.

[C7] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Reliability analysis of a concrete gravity dam. Contribution for discussion on Theme D: Risk Analysis-assessment of reliability for concrete**

dams. 14th International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams, ICOLD, Estocolmo, Suécia, 6–8 setembro de 2017.

3.3 Publicações do LNEC

3.3.1 Relatórios de investigação

[R1] PEREIRA, R.; BATISTA, A. L.; NEVES, L. C. – **Probabilistic-based structural safety analysis of concrete dams. PhD thesis work plan of Renato Pereira.** Relatório 119/2016 – DBB, 2016.

[R2] SERRA, C.; PEREIRA, R.; BATISTA, A. L. – **Analysis of the concrete test results obtained during the Baixo Sabor dam construction.** LNEC. Relatório 236/2017 – DBB/NO, 2017.

3.3.2 Outros documentos de investigação

[D1] CASACA, J.; PEREIRA, R. – **Parametric inference in the context of beta mixtures.** LNEC. ICT Barragens. INCB 24, 2017.

4 | Indicadores de desempenho, recursos humanos mobilizados e financiamento

4.1 Indicadores de desempenho

No Quadro 4.1 apresentam-se os indicadores de desempenho do projeto, designadamente os previstos na ficha inicial, os realizados de 2013 a 2017 e os previstos em 2018.

Quadro 4.1 – Indicadores de desempenho

| Indicadores | Total previsto no projeto (4 anos) | Realizado de 2013 a 2017 (4 anos) | Previsto para 2018 (1 ano) |
|----------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| Artigos em revista internacional | 6 | 1 | 3 |
| Comunicações em congresso | 6 | 7 | 2 |
| Relatórios científicos | 0 | 3 | 3 |
| Teses de doutoramento | 1 | 0 | 1 |

4.2 Recursos humanos mobilizados

No Quadro 4.2 apresentam-se os recursos humanos do LNEC dedicados ao projeto entre 2015 e 2017, designadamente os meses de trabalho previstos e efetivamente dedicados, e ainda o previsto para 2018.

Quadro 4.2 – Afetação de recursos humanos do LNEC

| Equipa do LNEC | Categoria | Afetação percentual prevista | Meses de trabalho | | |
|-----------------------|--------------------------|------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| | | | Previsto entre 2015 e 2017 (2,5 anos) | Realizado entre 2015 e 2017 (2,5 anos) | Previsto para 2018 (1 ano) |
| António Lopes Batista | Investigador Principal | 15% | 4,5 | 2,0 | 1,8 |
| José Vieira de Lemos | Investigador-Coordenador | 5% | 1,5 | 1,1 | 0,6 |
| Luís Nolasco Lamas | Investigador Principal | 5% | 1,5 | 0,4 | 0,6 |

No Quadro 4.3 apresentam-se os recursos humanos exteriores ao LNEC mobilizados no projeto entre 2015 e 2017 (BDA Renato Pereira e Prof. Luís Canhoto Neves), designadamente os meses de trabalho previstos e efetivamente dedicados, e ainda o previsto para 2018.

Quadro 4.3 – Afetação de recursos humanos exteriores ao LNEC

| Equipa do LNEC | Categoria | Afetação percentual prevista | Meses de trabalho | | |
|--------------------|--|------------------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|
| | | | Previsto entre 2015 e 2017 (2,5 anos) | Realizado entre 2015 e 2017 (2,5 anos) | Previsto para 2018 (1 ano) |
| Renato Pereira | Bolseiro de doutoramento com acolhimento no LNEC | 100% | 30 | 30 | 12 |
| Lúis Canhoto Neves | Professor | 10% | 3 | 1,5 | 1,2 |

4.3 Financiamento

Como referido, o trabalho teve financiamento da Fundação para a Ciência e a Tecnologia entre setembro de 2013 e setembro de 2017, ao abrigo da bolsa de doutoramento SFRH/BD/91131/2012 do DBA Renato Pereira.

5 | Considerações finais

O projeto de investigação ReliConDam pretende dar um contributo à engenharia de barragens de betão no estabelecimento de uma metodologia de avaliação da segurança estrutural, nomeadamente a definição de critérios de verificação da segurança, através da utilização de coeficientes parciais de segurança definidos a partir da análise da fiabilidade estrutural. Trata-se de um tema com uma grande atualidade científica, no qual o LNEC tem um interesse particular. Foi neste contexto que o LNEC fez o acolhimento do bolsheiro de doutoramento da FCT/UNL Renato Pereira, tendo-se definido o projeto à medida dos estudos a realizar no âmbito da tese. Pretende-se que o conhecimento associado ao desenvolvimento do projeto possa influenciar os critérios de projeto de barragens de betão e ser integrado em futuras revisões da regulamentação portuguesa de segurança de barragens.

As atividades definidas no projeto estão relacionadas, em primeiro lugar, com a modelação das incertezas envolvidas na segurança de barragens de betão, designadamente a definição de distribuições de probabilidade de ações e resistências, bem como a determinação da probabilidade de rotura, baseada na teoria da fiabilidade estrutural. Para tal a análise estrutural dos modelos genéricos das barragens gravidade apoia-se no método do equilíbrio limite, sendo utilizados, complementarmente, modelos numéricos.

O desenvolvimento das tarefas que constam do plano de trabalhos do projeto sofreu atrasos em relação à programação inicial, mas prevê-se que possam ser concluídas até ao final de 2018. A divulgação do trabalho através de artigos científicos também se atrasou, pelos motivos apontados.

Face às atividades desenvolvidas, descritas sucintamente no presente documento, considera-se que se têm cumprido, genericamente, os objetivos definidos no plano de trabalhos inicial. Atendendo ao ritmo de realização atual das análises de fiabilidade dos casos de estudo, prevê-se a conclusão dos trabalhos em 2018.

Lisboa, LNEC, março de 2018

VISTO

O Diretor do Departamento de Barragens de
Betão



António Lopes Batista

AUTORIA



António Lopes Batista
Investigador Principal



Renato Miguel Rodrigues Pereira
Bolsheiro de Doutoramento



Luís Armando Canhoto Neves
Professor, Universidade de Nottingham



José Vieira de Lemos
Investigador-Coordenador



Luís Nolasco Lamas
Investigador Principal

