



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**RESTATE – SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM
TEMPO ÚTIL PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE
GRANDES BARRAGENS DE BETÃO. O CICLO DE AÇÃO:
DADOS-INFORMAÇÃO-CONHECIMENTO-TOMADA
DE DECISÃO**

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**RESTATE – SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM
TEMPO ÚTIL PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE
GRANDES BARRAGENS DE BETÃO. O CICLO DE AÇÃO:
DADOS-INFORMAÇÃO-CONHECIMENTO-TOMADA
DE DECISÃO**

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020

Lisboa • janeiro 2024

I&D BARRAGENS DE BETÃO

RELATÓRIO 1/2024 – DBB/NO

Título

RESTATE – SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM TEMPO ÚTIL PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE GRANDES BARRAGENS DE BETÃO. O CICLO DE AÇÃO: DADOS-INFORMAÇÃO-CONHECIMENTO-TOMADA DE DECISÃO

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020

Autoria

DEPARTAMENTO DE BARRAGENS DE BETÃO

Juan Mata

Investigador Auxiliar, Núcleo de Observação

António Tavares de Castro

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Observação

Sérgio Oliveira

Investigador Auxiliar, Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

Ivo Figueiredo Dias

Investigador Auxiliar, Núcleo de Modelação e Mecânica das Rochas

DEPARTAMENTO DE GEOTECNIA

Ricardo Santos

Investigador Auxiliar, Núcleo de Geotecnia de Obras Hidráulicas

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Luís Lages Martins

Investigador Auxiliar, Núcleo de Qualidade Metrológica

NÚCLEO DE TECNOLOGIAS DA INFORMAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

José Barateiro

Investigador Principal, Chefe do Núcleo de Tecnologias da Informação em Engenharia Civil

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

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 1/2024

Proc. 0403/1102/20970, 0109/1102/2097001, 0402/1102/2097002,
0304/1102/2097003, 0502/1102/2097004, 0904/1102/2097005

RESTATE - SISTEMA DE SUPORTE À DECISÃO EM TEMPO ÚTIL PARA A AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA DE GRANDES BARRAGENS DE BETÃO. O CICLO DE AÇÃO: DADOS-INFORMAÇÃO-CONHECIMENTO-TOMADA DE DECISÃO

Relatório de avaliação final do projeto do P2I/LNEC 2013-2020

Resumo

Neste relatório apresenta-se, de forma sucinta, a descrição da atividade de investigação realizada no âmbito do projeto RESTATE, integrado no P2I/LNEC 2013-2020. É feita a apreciação da atividade desenvolvida, nomeadamente quanto ao grau de cumprimento do plano de trabalhos, bem como dos objetivos específicos e dos indicadores de desempenho propostos na ficha de projeto. São, ainda, referidas as aplicações dos resultados da investigação em trabalhos contratados ao LNEC e as candidaturas a financiamento externo desenvolvidas no âmbito do projeto.

Palavras-chave: RESTATE / Barragens de betão / Controlo de qualidade das medições / Análise e interpretação do comportamento estrutural / Controlo de segurança estrutural

REAL-TIME DECISION SUPPORT SYSTEM FOR SAFETY ASSESSMENT OF LARGE CONCRETE DAMS. THE ACTION CYCLE: DATA-INFORMATION-KNOWLEDGE-DECISION MAKING

Report of the final assessment of the P2I/LNEC 2013-2020

Abstract

This report presents a brief description of the research activities performed for the RESTATE project, included in the P2I/LNEC 2013-2020. An appreciation of the developed activity is presented, namely, about the degree of agreement with the work plan timeline, and as well, with the task goals and performance indicators, which are proposed in the project sheet. In the last part, the report presents the practical applications of the project results in works contracted to LNEC and in the applications to project grants.

Keywords: RESTATE / Concrete dams / Quality control of measurements / Analysis and interpretation of the structural behaviour / Structural safety control

Índice

1	Introdução	1
2	Atividade desenvolvida.....	2
2.1	Síntese das atividades realizadas	2
2.1.1	Desenvolvimento das tarefas do projeto	2
2.1.2	Elaboração de dissertações de mestrado e de teses de doutoramento	4
2.1.3	Candidaturas a financiamento externos	4
2.1.4	Outras atividades	5
2.2	Aplicações em estudos por contrato.....	6
3	Divulgação de resultados	8
3.1	Aspetos gerais	8
3.2	Edições especiais em revista internacional com arbitragem científica.....	8
3.3	Artigos em revistas científicas com arbitragem científica	8
3.3.1	Artigos em revistas internacionais	8
3.3.2	Artigos submetidos em revistas internacionais em fase de apreciação	9
3.3.3	Artigos em revistas nacionais	9
3.4	Livros.....	10
3.5	Capítulos em livros de circulação internacional com arbitragem científica	10
3.6	Publicações em eventos técnico-científicos	10
3.6.1	Comunicações em congressos internacionais	10
3.6.2	Posters em congressos internacionais	12
3.6.3	Comunicações em congressos nacionais	12
3.7	Apresentações realizadas em eventos técnico-científicos	14
3.8	Dissertações de mestrado e teses de doutoramento	14
3.9	Relatórios	14
3.10	Divulgação em plataformas digitais	14
4	Recursos mobilizados e indicadores de desempenho.....	15
4.1	Recursos humanos mobilizados	15
4.2	Indicadores de desempenho.....	16
5	Breve apreciação da atividade desenvolvida e desenvolvimentos futuros.....	21
6	Considerações finais	22
	Referências bibliográficas	24
	ANEXO Ficha do projeto	25

Índice de quadros

Quadro 2.1 – Plano de trabalhos proposto	2
Quadro 2.2 – Dissertações de mestrado concluídas	4
Quadro 4.1 – Afetação de recursos humanos.....	15
Quadro 4.2 – Valores de imputação de mão de obra no processo RESTATE.....	16
Quadro 4.3 – Indicadores de desempenho	16
Quadro 4.4 – Participação dos intervenientes nas publicações constantes nos indicadores de desempenho	17
Quadro 4.5 – Distribuição das publicações constantes nos indicadores de desempenho nas diversas tarefas.....	18
Quadro 4.6 – Distribuição das publicações constantes nos indicadores de desempenho por ano	20

1 | Introdução

O projeto de investigação RESTATE teve início em fevereiro de 2017 e tinha prevista uma duração total de 46 meses.

O projeto foi integrado no Plano de Inovação e Investigação 2013-2020 (P2I) do LNEC (LNEC; 2014) e tinha enquadramento na matriz programática da Estratégia de Investigação e Inovação 2013-2020 (E2I), nomeadamente no eixo estruturante E4 (*Risco e segurança*) e no eixo transversal E5 (*Instrumentos para a inovação*), e nas temáticas T3 (*Tecnologias de informação*) e T8 (*Desenvolvimento de competências e transferência de conhecimentos*).

A equipa de investigação foi inicialmente formada pelos investigadores Juan Mata (Investigador Responsável), do DBB/NO, João Prudente dos Santos (Investigador Co-responsável), do DE/NOE, António Tavares de Castro, do DBB/NO, Ivo Dias e Sérgio Oliveira, do DBB/NMMR, Luís Lages Martins, do CIC/NQM, Ricardo Santos, do DG/NGOH, e José Barateiro, do CD/NTIEC. O Eng.º João Prudente dos Santos deixou de exercer funções no LNEC no final de 2021, mas continuou a trabalhar no projeto no âmbito do acompanhamento, apenas como coorientador, da tese de doutoramento da aluna Fabiana Miranda.

O projeto RESTATE pretendeu desenvolver metodologias visando a criação de valor acrescentado nas áreas da segurança estrutural e da gestão do risco de grandes infraestruturas de engenharia civil, com recurso a modelos matemáticos que incorporem metodologias inovadoras de *machine learning*, nomeadamente no que se refere ao suporte à decisão em tempo útil. Destacam-se as seguintes atividades do projeto:

- Controlo da qualidade dos dados da observação (manual e automática) tendo como base: i) a consideração das incertezas das medições nas observações; e ii) a implementação de cartas de controlo adequadas.
- Análise e interpretação do comportamento observado de estruturas sob ações estáticas e dinâmicas através: i) da utilização das observações obtidas em sistemas de monitorização para ações estáticas e dinâmicas; e ii) do desenvolvimento de séries de previsão do comportamento (para previsão a curto e longo prazo).
- Deteção atempada (em tempo real) do possível desenvolvimento de cenários de dano através da: i) definição de limites de aviso e alerta; e ii) potenciação da informação armazenada em diversos estudos do LNEC sobre o comportamento estrutural em cenários de evolução até à rotura. O objetivo principal foi incorporar, através de modelos de *machine learning*, a informação dos modelos utilizados na simulação de cenários de rotura em sistemas de gestão da informação.

2 | Atividade desenvolvida

2.1 Síntese das atividades realizadas

2.1.1 Desenvolvimento das tarefas do projeto

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

Quadro 2.1 – Plano de trabalhos proposto

Atividade	Designação da Atividade	Tarefa	1º Sem.	2º Sem.	3º Sem.	4º Sem.	5º Sem.	6º Sem.	7º Sem.	8º Sem.
Atividade 1	Controlo de qualidade das medições	T 1.1								
		T 1.2								
Atividade 2	Análise, interpretação e previsão do comportamento observado sob ações estáticas e dinâmicas	T 2.1								
		T 2.2								
		T 2.3								
Atividade 3	Deteção atempada de potenciais cenários de dano	T 3.1								
Atividade 4	Desenvolvimento de aplicação para o suporte à decisão	T 4.1								

A atividade desenvolvida inseriu-se nas tarefas que integram o plano de trabalhos do projeto e cuja descrição pode ser consultada no Anexo. Seguidamente descrevem-se, de forma muito sucinta, os principais trabalhos desenvolvidos, os ajustes ao plano inicialmente traçado e os objetivos que não foram plenamente alcançados.

Atividade 1 – Controlo de qualidade das medições

- **T1.1 – Controlo de qualidade das medições com base nas incertezas de medição** – Nesta tarefa foram desenvolvidos trabalhos no âmbito do controlo de qualidade dos dados da observação (manual e automática) tendo como base a deteção de erros de medição e a consideração das incertezas de medição nas observações.
- **T1.2 – Controlo de qualidade das medições com base em estatística multivariada** – As ferramentas baseadas em estatística multivariada, referidas na ficha do projeto, acabaram por não ser prioritárias, porque se considerou que as metodologias de *machine learning*, também de base multivariada, seriam mais adequadas para a identificação de *outliers* nas medições.

Atividade 2 – Análise, interpretação e previsão do comportamento observado sob ações estáticas e dinâmicas

- **T2.1 – Aplicação informática para a análise de medições obtidas de sistemas de monitorização de ações estáticas** – Nesta tarefa foram utilizados modelos de *soft computing* (Ibrahim; 2016) e de *machine learning* (Bishop; 2006, Marsland; 2016; Goodfellow; et al.; 2016) para a análise e interpretação de grandezas observadas em barragens de betão e de aterro. Além de permitir um maior conhecimento para a adequada aplicação das

ferramentas de *machine learning* e *soft computing*, foi possível identificar os cuidados a ter para a sua correta utilização, assim como potenciar a sua utilização na caracterização do comportamento observado em situações em que existem fenómenos evolutivos resultantes de reações expansivas no betão.

- **T2.2 – Aplicação informática para a análise de medições obtidas de sistemas de monitorização de ações dinâmicas** – A atividade neste campo consistiu na monitorização em contínuo e na análise do comportamento dinâmico de barragens de betão, sob excitação ambiente/operacional e sob ações sísmicas. Os desenvolvimentos obtidos permitiam ilustrar a possibilidade de identificar e quantificar os efeitos do nível da albufeira e da temperatura na resposta dinâmica observada nas barragens de betão.
- **T2.3 – Desenvolvimento de metodologias para a previsão de séries temporais** – Esta tarefa teve um rumo diferente do inicialmente traçado. Em vez da utilização de modelos do tipo MA (*moving averages*), AR (*autoregressive*) e ARMA (*autoregressive-moving average*), foram aplicados modelos de *deep learning* do tipo LSTM (*long short term memory*). Os resultados obtidos foram em linha com o inicialmente previsto, sendo possível o desenvolvimento de modelos para a previsão do comportamento no curto prazo e para a caracterização de padrões temporais nos resíduos obtidos nos modelos tradicionalmente utilizados.

Atividade 3 – Detecção atempada de potenciais cenários de dano

- **T3.1 – Definição de regras de decisão para a identificação atempada de potenciais cenários de acidente e de incidente** – Esta atividade consistiu na identificação atempada de comportamento anómalo por duas vias: aprendizagem não supervisionada e aprendizagem supervisionada. No âmbito da aprendizagem não supervisionada foi realizado trabalho em linha com o previsto. No âmbito da aprendizagem supervisionada, o objetivo era o de identificar e classificar um possível dano com auxílio de informação proveniente de modelos numéricos avançados. Trata-se de um trabalho intenso, que precisa de uma forte e continuada interação entre o IA Ivo Dias (DBB/NMMR) e o IA Juan Mata (DBB/NO), sendo apenas possível obter resultados de forma eficaz se for enquadrado no âmbito de uma dissertação de doutoramento. Tal não foi possível, pelo que se irá continuar a procurar candidato e financiamento para esse trabalho, que tem todo o interesse para o LNEC.

Atividade 4 – Desenvolvimento de aplicação para o suporte à decisão

- **T4.1 – Desenvolvimento de sistema de suporte à decisão** – Apenas uma aplicação da atividade 1 foi integrada no sistema gestBarragens (a que permite efetuar a comparação entre resultados obtidos nos sistemas de recolha automática (RAD) e manual (RMD) de dados), encontrando-se os restantes desenvolvimentos numa fase precoce de desenvolvimento. O facto de estar a ser desenvolvida uma nova versão do sistema gestBarragens, associado à escassez de recursos humanos disponíveis na área da informática, fez com que esta atividade não fosse alavancada.

2.1.2 Elaboração de dissertações de mestrado e de teses de doutoramento

No âmbito deste projeto foram concretizadas 6 dissertações de mestrado (Quadro 2.2) e estão em fase de desenvolvimento uma dissertação de mestrado e uma tese de doutoramento.

Quadro 2.2 – Dissertações de mestrado concluídas

Aluno de mestrado	Título da dissertação	Ano de conclusão	Orientadores do LNEC	Universidade
António Antunes	<i>Big Data Analytics Applied to Sensor Data of Engineering Structures: Automatic Detection of Outliers</i>	2017	José Barateiro	ISCTE-IUL
Filipe Caçador	<i>Big Data Analytics Applied to Sensor Data of Engineering Structures: Predictive Methods</i>	2017	José Barateiro	ISCTE-IUL
Matilde Freitas	Monitorização de vibrações em estruturas. Métodos de identificação modal no domínio do tempo	2017	Sérgio Oliveira	ISEL
João Sena Cardoso	Modelação do comportamento observado em barragens de betão com base em técnicas de aprendizagem automática	2019	Juan Mata	IST/UL
José António Silva	Desenvolvimento de modelos de <i>machine learning</i> baseados em dados de monitorização contínua de barragens de betão para a interpretação do comportamento estrutural observado	2022	Juan Mata	FEUP
José Mendes	Identificação de novidades no comportamento observado em barragens de betão com recurso a modelos de <i>machine learning</i>	2023	Juan Mata	FEUP

A dissertação de doutoramento da aluna Fabiana Miranda (FEUP), sob o tema “*Increasing robustness of critical infrastructures assessment using artificial intelligence and structural monitoring*”, está enquadrada no projeto RESTATE desde novembro de 2021, estando a conclusão inicialmente prevista para o final de 2023. A dissertação foi inicialmente enquadrada no Departamento de Estruturas (DE) do LNEC, sob a orientação do Eng.º João Prudente dos Santos. Após a saída do LNEC do Eng.º João Prudente dos Santos, e uma vez que várias das metodologias propostas na dissertação se identificavam com as do projeto RESTATE, a orientação passou a ser efetuada pelo IA Juan Mata. A coorientação é efetuada pelo Prof. Xavier Romão (FEUP) e pelo Eng.º João Prudente dos Santos. Dado o atraso nos trabalhos, prevê-se que a dissertação seja concluída no primeiro semestre de 2024.

2.1.3 Candidaturas a financiamento externos

Foram apresentadas 7 candidaturas a financiamento externo, três candidaturas em programas de financiamento a nível nacional e quatro a nível internacional. Apenas a candidatura DOLMEN foi aprovada para financiamento, tendo o IA Juan Mata a função de investigador convidado nessa candidatura. Apresentam-se, de seguida, as referidas candidaturas.

2023 Candidatura do projeto: *Integrated digital platform for optimized SUsustainable operation and PREdictive Maintenance of Existing* hydropower plants (SUPREME), do tipo HORIZON-RIA do HORIZON EUROPE 2021-2027. Este projeto não foi alvo de

- financiamento.
- 2021 Candidatura a projeto de investigação em Espanha: *Dam safety contrOL with dynamic warning thresholds combining numerical Models and machinE learNing* (DOLMEN).
Call: Knowledge Generation 2021:
<https://www.infosubvenciones.es/bdnstrans/GE/es/convocatoria/590214>.
A candidatura foi aprovada para financiamento. O IA Juan Mata é investigador convidado no projeto.
- 2021, 2020 Candidaturas do projeto DAM_SAFE - *Dynamic Structural Health Monitoring for Dams Safety Control* (PTDC/ECI-EGC/3384/2020 e PTDC/ECI-EGC/3828/2021), submetidas ao programa da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), intitulado “Projetos de investigação científica e desenvolvimento tecnológico”, em 2020 e 2021. Estes projetos não foram alvo de financiamento.
- 2018 Candidatura na ação COST European Cooperation in Science & Technology (<https://www.cost.eu/>), open call collection OC-2018-1 com a *Proposal Reference* OC-2018-1-22731, intitulada: “*New technologies for strengthening dam safety and resilience*”. Este projeto não foi aprovado para financiamento.
- 2018 Candidatura do projeto COVERAGE – “*Combined Operational forecasting of Earthquakes, Risk reduction, EARly warninG and rapid assEssment*”. A proposta foi inserida no tópico SC5-17-2018, denominado “*Towards operational forecasting of earthquakes and early warning capacity for more resilient societies*”, no âmbito da “Call” a projetos H2020-SC5-2018-2019-2020, intitulada “*Greening the economy in line with the Sustainable Development Goals* (SDGs)”. Este projeto não foi alvo de financiamento.
- 2017 Candidatura do projeto “Sistema de suporte à decisão em tempo útil para a avaliação da segurança de grandes infraestruturas na Indústria 4.0”, com o acrónimo RESTATEFORINDUSTRY4.0, ao concurso referente a Projetos de Desenvolvimento e Implementação de Infraestruturas de Investigação inseridas no RNIE do Programa Operacional Regional de Lisboa. Este projeto não foi alvo de financiamento.

2.1.4 Outras atividades

No âmbito do projeto foram promovidas diversas ações de divulgação da atividade desenvolvida no grupo de trabalho do comité técnico designado “*Dam surveillance*” da ICOLD (*International Commission on Large Dams*), com o qual o IA Juan Mata colabora, tais como apresentações ou colaborações em boletins técnicos da ICOLD.

Refere-se a participação no evento VERBUND Innovation Challenge 2017 com o tema “*Innovation challenge - Neural networks in power plants*”, promovido pela VERBUND (empresa austríaca de produção de energia hidroelétrica). Os objetivos principais do desafio foram: i) a promoção de

metodologias inovadoras para a avaliação do desempenho das obras; e ii) o desenvolvimento de modelos e a sua utilização na previsão do comportamento observado de duas barragens da VERBUND (uma de betão e outra de aterro), com os menores erros possíveis, de modo a ser possível reconhecer desvios de forma atempada.

Refere-se ainda a participação, em 2019, no estudo piloto intitulado “Data Science Framework”, promovido pela Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída (INCD), tendo em vista a disponibilização e exploração de ambientes de computação no contexto do controlo de qualidade dos dados das observações e da análise do comportamento observado em grandes infraestruturas de engenharia civil (<http://incd.lnec.pt/>).

2.2 Aplicações em estudos por contrato

Parte das tarefas desenvolvidas no RESTATE foram aplicadas no âmbito dos trabalhos de contrato intitulados: “Barragem do Alto Lindoso. Observação e controlo da segurança” e “Apoio do LNEC na receção e operação dos sistemas de recolha automática de dados (RAD), dos sistemas GNSS e do sistema de observação sísmica (SOS)”, com aplicação nas barragens do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor, na parte relativa ao sistema RAD, nomeadamente:

- No desenvolvimento de aplicações para a análise integrada das medições provenientes dos sistemas RAD e RMD.
- Na definição de limiares de alerta para a deteção de possíveis comportamentos anómalos.

Apresenta-se a listagem dos relatórios publicados, no âmbito dos trabalhos por contrato, com incorporação de conhecimento relacionado com o projeto RESTATE:

1. Mata, J.; Santos, C.; Gil de Morais, P. “Barragens do aproveitamento hidroelétrico do Baixo Sabor - Apoio do LNEC na receção e operação dos sistemas de recolha automática de dados verificação inicial da operacionalidade dos sistemas”. Relatório 157/2017 – DBB/NO.
2. Mata, J.; Tavares de Castro, A. “Barragem do Alto Lindoso - Análise da qualidade das medições do sistema de recolha automática de dados entre 2006 e 2016”. Relatório 215/2017 – DBB/NO.
3. Mata, J.; Piteira Gomes, J. 2018. “Barragem do Baixo Sabor. Análise da qualidade das medições do sistema de recolha automática de dados durante o período do serviço experimental (entre 29 de junho e 15 de setembro de 2016)”. Relatório 242/2018 – DBB/NO.
4. Mata, J.; Piteira Gomes, J. 2018. “Barragem do Baixo Sabor. Análise da qualidade das medições do sistema de recolha automática de dados durante o período de receção provisória (entre 16 de setembro de 2016 e 15 de setembro de 2017)”. Relatório 250/2018 – DBB/NO.

Ainda resultante das atividades desenvolvidas no âmbito do RESTATE, está em fase de desenvolvimento o trabalho por contrato intitulado “Barragem de Foz Tua. Apoio na receção e operação do sistema RAD”.

3 | Divulgação de resultados

3.1 Aspetos gerais

A divulgação de resultados foi realizada através de publicações, da participação em eventos técnico-científicos, de dissertações de mestrado, de relatórios e de plataformas digitais.

3.2 Edições especiais em revista internacional com arbitragem científica

Desde setembro de 2023 [ERI2023] O IA Juan Mata é editor na *special Issue "Empowering Design, Monitoring and Assessment of Hydraulic Structures with Data-Based Models"* da revista Water da MDPI (ISSN 2073-4441).

https://www.mdpi.com/journal/water/special_issues/24962PN54T

Maio de 2020 até maio de 2023 [ERI2020_23] O IA Juan Mata foi editor convidado na special issue: "*Soft Computing and Machine Learning in Dam Engineering*", da revista Water da MDPI (ISSN 2073-4441) [EdiPubCT2022] https://www.mdpi.com/journal/water/special_issues/SCML.

A *special issue* incluiu a publicação de 11 artigos, tendo sido editado também como livro (cujo *download* pode ser efetuado através do link acima apresentado).

3.3 Artigos em revistas científicas com arbitragem científica

3.3.1 Artigos em revistas internacionais

A2023a Mata, J.; Pereira Gomes, J.; Pereira, S.; Magalhães, F.; Cunha, A. 2023. "*Analysis and interpretation of observed dynamic behaviour of a large concrete dam aided by soft computing and machine learning techniques*". Engineering Structures, Volume 296. ISSN 0141-0296. Doi: 10.1016/j.engstruct.2023.116940

A2023b Hariri-Ardebili, M.A.; Salazar, F.; Pourkamali-Anaraki, F.; Mazzà, G.; Mata, J. 2023. "*Soft computing and machine learning in dam engineering*". Soft Computing in dam engineering. Water Journal, MDPI, 15, 917, p. 8, doi:10.3390/w15050917

A2023c Mata, J.; Miranda, F.; Antunes, A.; Romão, X.; Santos, J. 2023. "*Characterization of relative movements between blocks observed in a concrete dam and definition of thresholds for novelty identification based on machine learning models*". Soft Computing in dam engineering. Water Journal, MDPI, 15(2)297, p. 21, doi: 10.3390/w15020297

- A2021a Mata, J.; Salazar, F.; Barateiro, J.; Antunes, A. 2021. “*Validation of machine learning models for structural dam behaviour interpretation and prediction*”. *Soft Computing in dam engineering*. Water journal, MDPI, vol. 13, n.19, p. 27, doi: 10.3390/w13192717
- A2021b Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Lima, J. N.; Proença, J. 2021. “*Displacement monitoring in Cabril dam using GNSS*”. *Dam Engineering*. ISSN 0-617-00563-X. Volume 3 XXXI – Issue 3.
- A2019 Gamse, S.; Henriques, M. J.; Oberguggenberger, M.; Mata, J. 2019. “*Analysis of periodicities in long-term displacement time series in concrete dams*”. *Structural Control and Health Monitoring*, vol. 27, n. 3, p. 18, doi: <https://doi.org/10.1002/stc.2477>

3.3.2 Artigos submetidos em revistas internacionais em fase de apreciação

- AS2023a Mata, J.; Custódio, J.; Serra, C.; Bettencourt Ribeiro, A.; Tavares de Castro, A. 2023. “*The diagnosis and prognosis of alkali-silica reaction (ASR) in concrete dams. The demolished Alto Ceira dam (Portugal)*”. *Construction and Building Materials Journal*, Elsevier.
- AS2023b Miranda, F.; Mata, J.; Romão, X.; Santos, J. 2023. “*Improving the traditional approach for structural behaviour analysis of bridges using LSTM models: an application to the 25 de Abril Bridge*”. *Engineering Structures Journal*, Elsevier.
- AS2023c Miranda, F.; Mata, J.; Santos, J.; Romão, X. 2023. “*Structural behaviour characterization and novelty identification based on machine learning models*”. *Journal of Civil Structural Health Monitoring*, Springer.

3.3.3 Artigos em revistas nacionais

- A2023d Silva, J.; Mata, J.; Pereira, S.; Cunha, A. 2023. “*Desenvolvimento de modelos de interpretação quantitativa do tipo HTT com recurso a medições da temperatura do ar. Aplicação aos deslocamentos horizontais observados na barragem do Baixo Sabor*”. *Revista Portuguesa de engenharia de Estruturas* (artigo aceite para publicação).
- A2022 Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J. 2022. “*Modelos híbridos de separação de efeitos do tipo HSCT-FE para estudo do comportamento de barragens abóbada sob ações expansivas*”. *Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas (RPEE) | Série III*, n.º 18, março de 2022, p.73-80.
- A2017 Lages Martins, L.; Silva Ribeiro, A.; Mata, J.; Tavares de Castro, A. 2017. “*Medição do movimento de abertura-fecho e deslizamento de juntas em barragens de betão*”. *Revista Medições e Ensaios*. ISSN: 2182-5424. Número 14.

3.4 Livros

- L2023a Antunes, A.; Barateiro, J.; Mata, J.; Cardoso, E.; Caçador F. 2023. *“Machine learning applied to sensor data: Predictive methods used for dam behaviour interpretation”*. LNEC. Lisboa. ISBN: 978-972-49-2324-6
- L2023b Antunes, A.; Barateiro, J.; Mata, J.; Cardoso, E. 2023. *“Automatic outlier detection in sensor data used for structural health monitoring”*. LNEC. Lisboa. ISBN 978-972-49-2325-3

3.5 Capítulos em livros de circulação internacional com arbitragem científica

- Cap2022 Mata, J.; Santos, J.; Barateiro, J. 2022. *“Using emergent technologies on the structural health monitoring and control of critical infrastructures. industry 4.0 for the built environment”*. Structural Integrity book series, Springer.
- Cap2019 Rico, J.; Barateiro, J.; Mata, J.; Antunes, A.; Cardoso, E. 2019. *“Applying advanced data analytics and machine learning to enhance the safety control of dams”*. Machine Learning Paradigms, Springer International Publishing, Cham, pag.315-350, ISBN: 978-3-030-15628-2, doi:10.1007/978-3-030-15628-2_10

3.6 Publicações em eventos técnico-científicos

3.6.1 Comunicações em congressos internacionais

- C2023 Cunha, J.; Mata, J.; Salazar, F.; Faria, A. 2023. *“Use of boosted regression tree algorithms in dam behavior analysis. Case of Covão do Meio dam (Portugal)”*. Symposium “Management for Safe Dams” - 91st Annual ICOLD Meeting – Gothenburg 13-14 June 2023.
- C2023a Oliveira, S.; Mendes, P.; Rodrigues, M.; Alegre, A.; Proença, J.; Carvalho, E.; Matsinhe, B. 2023. *“Cahora Bassa vibrations monitoring between 2010-2022. Analysis of frequencies using HST statistical models for effects separation”*. EUROODYN2023, XII Int. Conf. on Structural Dynamics, 2-5 July, Delft, the Netherlands.
- C2023b Rodrigues, M.; Lima, N.; Oliveira, S. 2023. *“Structural health monitoring of large dams using GNSS and HSCT-FE models. Swelling effect detection”*. ECS2023. Proceedings of the 12th ICOLD European Club Symposium 2023, pp.937-945. Interlaken, Switzerland, 5-8 Sep.2023. Role of Dams and Reservoirs in a Successful Energy Transition. Ed. by R.M. Boes, P. Droz & R. Leroy, Swiss Committee on Dams. ISBN

978-1-032-57668-8

- C2022a Mata, J., Serra C. 2022. “*Behaviour prediction of a concrete arch dam combining NN and MLR models – Proposal for the 16th ICOLD BW*”. 16th International Benchmark Workshop on Numerical Analysis of Dams 2022, ICOLD, 5 a 6 de abril, participação online.
- C2022b Mata, J.; Tavares de Castro, A. 2022. “*Surveillance of large concrete dams aided by automated systems and machine learning techniques. Contribution from the Portuguese experience*”. Questão 106 – Surveillance, Instrumentation, Monitoring and Data Acquisition and Processing, 27^{ème} Congrès des Grands Barrages 2021, Marselha, França.
- C2022c Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J. 2022. “*Development of hybrid HSCT-FE models to study the behavior of large dams due to concrete swelling*”. 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. LNEC, Lisboa.
- C2022d Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J. 2022. “*Application of hybrid HSCT-FE models to identify the swelling effect on a multiple arch dam*”. 16th International Conference on Alkali-Aggregate Reaction in Concrete. LNEC, Lisboa.
- C2020b Mata, J.; Cunha, J.; Pimentel, R.; Piteira Gomes, J. 2020. “*Validation of Automated Data Acquisition System (ADAS) of Baixo Sabor dam*”. 4th International Dam World Conference, 21 a 25 de setembro de 2020, LNEC, Lisboa, Portugal.
- C2020c Custódio, J.; Mata, J.; Serra, C.; Bettencourt Ribeiro, A.; Tavares de Castro, A. 2020. “*The diagnosis and prognosis of ASR in dams. Application to Alto Ceira I dam (Portugal)*”. 4th International Dam World Conference, 21 a 25 de setembro de 2020, LNEC, Lisboa, Portugal.
- C2020d Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Lima, J. N.; Proença, J. 2020. “*Displacement monitoring in cabril dam using GNSS*”. 4th International Dam World Conference. Lisboa.
- C2019a Mata, J.; Tavares de Castro, A. 2019. “*Interpretation of horizontal displacement time series recorded in concrete dams based on support vector regression models*”. In 11th ICOLD European Club Symposium, 2 a 4 de outubro de 2019, Grécia.
- C2019b Mata, J.; Martins, L.; Tavares de Castro, A.; Ribeiro, A. S. 2019. “*Statistical quality control method for automated water flow measurements in concrete dam foundation drainage systems*”. FLOWMEKO2019 - 18th International Flow Measurement Conference, 26 a 28 de junho de 2019, LNEC, Lisboa, Portugal.
- C2019c Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J.; Alegre, A. 2019. “*Safety control of Aguieira dam using hybrid HSCT-FEM models*”. HYDRO2019. Concept to Closure: Practical Steps, 14-16 de outubro de 2019, Centro de Congressos da Alfândega, Porto.
- C2018a Cunha, J.; Mata, J.; Gonzalo Losada Ortiz, G. 2018. “*Structural safety control of the*

Baixo Sabor dam based on an automated data acquisition system” no ATCOLD Symposium Hydro Engineering, que decorreu em paralelo com o 26th ICOLD World Congress e o 86th ICOLD Annual Meeting do International Commission on Large Dams ICOLD. Viena, Áustria.

- C2018b Santos, R.; Mata, J. 2018. “*Assessment of water flow measurement in a zoned dam using artificial neural network models*”, no ATCOLD Symposium Hydro Engineering, que decorreu em paralelo com o 26th ICOLD World Congress e o 86th ICOLD Annual Meeting do International Commission on Large Dams ICOLD. Viena, Áustria.
- C2018c Antunes, A., Barateiro, J., Cardoso, E. 2018. “*Adding value to sensor data of civil engineering structures: Automatic outlier detection*”. SIAM SDM - International Conference on Data Mining, COST Workshop, 2018.
- C2018d Freitas, M.; Prior, A.; Oliveira, S.; Alegre, A. 2018. “*Time domain modal identification methods. Numerical tests and application to Cabril dam*”. 3rd International Dam World Conference (DW18), Brazil, Foz do Iguaçu, 17-21 de setembro de 2018.
- C2018e Rodrigues, M.; Oliveira, S., Lima, N. L. 2018. “*Monitoring and analysis of concrete dams behavior taking into account swelling effects. DamSaf3.0: Separation of effects and 3DFE Models*”. 3rd Int. Dam World Conference. Foz do Iguaçu, Brasil.
- C2017a Cunha, J.; Mata, J.; Gonzalo Losada Ortiz, G. 2017. “*Structural safety control of the Feiticeiro dam based on an automated data acquisition system*”. 85th Annual Meeting of International Commission on Large Dams. Praga, Republica Checa.
- C2017b Mata, J. 2017. “*RESTATE Project: Real-time decision support system for safety assessment of large concrete dams. The action cycle: Data-Information-Knowledge-Decision Making*”. International Summer School on Deep Learning, Bilbao, Espanha.

3.6.2 Posters em congressos internacionais

- P2018 Santos, R.; Mata, J. 2018. “*Assessment of water flow measurement in a zoned dam using artificial neural network models*”, no ATCOLD Symposium Hydro Engineering, que decorreu em paralelo com o 26th ICOLD World Congress e o 86th ICOLD Annual Meeting do *International Commission on Large Dams - ICOLD*. Viena, Áustria.
- P2017 Cunha, J.; Mata, J.; Gonzalo Losada Ortiz, G. 2017. “*Structural safety control of the Feiticeiro dam based on an automated data acquisition system*”. 85th Annual Meeting of International Commission on Large Dams. Praga, Republica Checa.

3.6.3 Comunicações em congressos nacionais

- C2022e Silva, J.; Mata, J.; Pereira, S.; Cunha, A. 2022. “*Interpretação de deslocamentos horizontais observados na barragem do Baixo Sabor com recurso a modelos de machine learning. Caracterização do efeito da frequência de medição na qualidade*

- dos dados*". 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Encontro Nacional de Betão Estrutural 2022. 12^o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. 9 a 11 de novembro de 2022, LNEC, Portugal.
- C2022f Silva, J.; Mata, J.; Pereira, S.; Cunha, A. 2022. "*Desenvolvimento de modelos de interpretação quantitativa do tipo HTT com recurso a medições da temperatura do ar. Aplicação aos deslocamentos horizontais observados na barragem do Baixo Sabor*". 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Encontro Nacional de Betão Estrutural 2022. 12^o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. 9 a 11 de novembro de 2022, LNEC, Portugal.
- C2022g Miranda, F.; Mata, J.; Romão, X.; Santos, J. 2022. "*A methodology for the interpretation of the observed structural behaviour of critical infrastructures through machine learning models: The 25 de Abril's bridge as case study*". 6^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia de Estruturas. Encontro Nacional de Betão Estrutural 2022. 12^o Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica. 9 a 11 de novembro de 2022, LNEC, Portugal.
- C2022h Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J. 2021. "*Modelos híbridos de separação de efeitos do tipo HSCT-FE para estudo do comportamento de barragens abóbada sob ações expansivas*". Reabilitar & Betão Estrutural 2020. LNEC, Lisboa.
- C2022i Rodrigues, M.; Oliveira, S.; Proença, J.; Carvalho, E.; Mendes, P. 2021. "*Observação e Análise de Extensões e Tensões na Barragem de Cahora Bassa*". Reabilitar & Betão Estrutural 2020. Lisboa.
- C2021a Cardoso, J., Mata, J.; Almeida, J. 2021. "*Utilização de modelos de aprendizagem automática do tipo random forest na interpretação dos deslocamentos horizontais observados na barragem do Alto Lindoso*". Reabilitar & Betão estrutural 2020, 3 a 5 de novembro de 2021, LNEC, Lisboa, Portugal.
- C2019c Martins, L.; Mata, J.; Serra, C.; Ribeiro, A.; Tavares de Castro, A. 2019. "*Rastreabilidade de extensómetros de resistência elétrica utilizados na monitorização de barragens de betão*". 2^o Congresso de ensaios e Experimentação em Engenharia Civil. 18-21 de fevereiro de 2019, Porto, Portugal.
- C2018f Rodrigues, M.; Oliveira, S. 2018. "*Análise do Comportamento de Barragens de Betão Tendo em Conta o Efeito das Expansões. Modelos de Separação e efeitos do tipo HSCT*". Encontro Nacional de Betão Estrutural, 7 a 9 de novembro 2018. LNEC, Lisboa.

3.7 Apresentações realizadas em eventos técnico-científicos

AprRC2020a Serra, C.; Mata, J. 2020. “*Controlo da segurança estrutural de barragens de betão em Portugal*”, no âmbito da disciplina de Introdução à Engenharia Civil. Palestra na Universidade da Madeira (por videoconferência) em dezembro de 2020.

3.8 Dissertações de mestrado e teses de doutoramento

Ao abrigo do projeto foram orientadas as dissertações de mestrado indicadas no Quadro 2.2.

3.9 Relatórios

No âmbito deste projeto foram publicados os seguintes relatórios:

- 2023 Mata, J.; Tavares de Castro, A.; Martins, L. Ribeiro, A. 2023. “*Estudo de repetibilidade e reprodutibilidade nos sistemas de medição em barragens de betão. Aplicação à barragem do Alto Lindoso*”. Relatório 311/2023 – DBB/NO.
- 2018 Mata, J.; Oliveira, S.; Tavares de Castro, A.; Dias, I.; Santos, J.; Santos, R.; Martins, L.; Barateiro, J. 2018. “*RESTATE – Sistema de suporte à decisão em tempo útil para a avaliação da segurança de grandes barragens de betão. O ciclo de ação: dados-informação-conhecimento-tomada de decisão. Relatório de progresso do projeto do P2I/LNEC até fevereiro de 2018*”. Relatório 171/2018 – DBB/NO.

3.10 Divulgação em plataformas digitais

No âmbito do projeto RESTATE, foi desenvolvida uma página web para a divulgação das principais atividades desenvolvidas e resultados alcançados. A página pode ser consultada através do seguinte endereço eletrónico: <https://sites.google.com/view/restate-project/the-project>

4 | Recursos mobilizados e indicadores de desempenho

4.1 Recursos humanos mobilizados

No Quadro 4.1 apresentam-se os recursos humanos do LNEC alocados ao projeto, incluindo a afetação efetivamente realizada e a prevista na ficha do projeto. No Quadro 4.2 apresenta-se a imputação de mão de obra da equipa do RESTATE entre 2017 e 2023.

A afetação de recursos ficou, no geral, muito aquém do previsto, mesmo que a duração total do projeto fosse cerca de 80 meses em vez de 47 meses. A única exceção é a da aluna de doutoramento Fabiana Miranda (com financiamento FCT - PD/BD/150407/2019), que tem a totalidade da sua atividade enquadrada no processo RESTATE.

Conforme referido anteriormente, não foi possível, pelos IA Juan Mata e Ivo Dias, o desenvolvimento das tarefas relacionadas com a identificação de comportamento anómalos com recurso a modelos numéricos e com base numa abordagem de aprendizagem supervisionada. Dada as disponibilidades dos IAs e o tempo previsto para o desenvolvimento desta atividade, perspetiva-se que só seja possível ser desenvolvida, de forma eficiente e eficaz, no âmbito de uma dissertação de doutoramento, cuja efetivação ainda não foi conseguida.

Quadro 4.1 – Afetação de recursos humanos

Equipa do LNEC	Categoria	Meses de trabalho		Concretização
		Dedicado	Total previsto no projeto	
Juan Mata (DBB/NO)	Investigador Auxiliar	12,7	22,4	56,7 %
João Prudente dos Santos (DE/NOE)	Investigador Auxiliar*	0,1	2,8	3,6 %
Ivo Dias (DBB/NMMR)	Investigador Auxiliar	0,0	2,8	0 %
Luís Lages Martins (CIC/NQM)	Investigador Auxiliar	0,2	2,8	7,1 %
Ricardo Santos (DG/NGOH)	Investigador Auxiliar	0,6	2,8	21,4 %
António Tavares de Castro (DBB/NO)	Investigador Principal	0,7	2,8	25,0 %
José Barateiro (CD/NTIEC)	Investigador Principal	0,2	2,8	7,1 %
Sérgio Oliveira (DBB/NMMR)	Investigador Auxiliar	4,2	8,4	50,0 %
Vera Serrazina (CD/NTIEC)	Especialista de informática	0,0	8,4	0,0 %
Fabiana Miranda (DBB)	Bols. de Doutoramento	22,0	16,8	131,0 %

Nota: * Deixou de exercer atividade no LNEC no final de 2021.

Quadro 4.2 – Valores de imputação de mão de obra no processo RESTATE

		Imputação de mão de obra							Total por pessoa	
		Por ano								
		(horas)						(horas)	(meses)	
Equipa do LNEC		2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	No período 2017-2023	
Juan Mata		84	232	147	193	384	646	275	1961	12,7
João Pedro Santos		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Ivo Dias		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Luís Lages Martins		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Ricardo Santos		0	24	25	35	0	10	5	99	0,6
António Tavares de Castro		0	29	42	0	10	21	0	102	0,7
José Barateiro		0	28	0	0	0	0	0	28	0,2
Sérgio Oliveira		50	110	140	100	95	130	20	645	4,2
Vera Serrazinha		0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Total por ano	(horas)	134	423	354	328	489	807	300		
	(meses)	0,87	2,75	2,30	2,13	3,18	5,24	1,95		

4.2 Indicadores de desempenho

No Quadro 4.3 apresentam-se os indicadores de desempenho do projeto, nomeadamente a relação entre o realizado até fevereiro de 2018 e o total previsto na ficha de projeto, podendo ser constatado que no campo das publicações os resultados obtidos superaram os inicialmente propostos.

Quadro 4.3 – Indicadores de desempenho

Indicadores	Total previsto no projeto	Realizado
Edição de revista internacional	-	1
Artigos em revista internacional	4	6
Artigos em revista nacional	1	3
Livros	1	2
Capítulos de livros	-	2
Comunicações em congresso	10	28 (20 C.I. + 8 C.N.)
Posters em congressos	-	2
Relatórios	-	2
Dissertações de mestrado	2	6

Nota: Não foram consideradas as atividades ainda não concluídas (1 dissertação de mestrado, 1 tese de doutoramento, a edição de uma revista internacional, 3 artigos submetidos).

No Quadro 4.4 indicam-se as diversas participações nas publicações efetuadas. Saliencia-se a colaboração com diversos investigadores do LNEC e com investigadores e professores que exercem funções em entidades externas ao LNEC (e.g. FEUP, IST, ISCT-IUL, EDP e CIMNE, entre outros).

Quadro 4.4 – Participação dos intervenientes nas publicações constantes nos indicadores de desempenho

	Equipa do RESTATE								Sinergias externas ao RESTATE						
	JM	JPS	ATC	ID	LLM	RS	JB	SO	ILNEC	DO	IIE	PUIN	PUIE	AI	RE
Edição de revista internacional															
ERI2023	X										X		X		
ERI2020-2023	X										X		X		
Artigos em revistas internacionais															
A2023a	X								X			X			
A2023b	X										X		X		
A2023c	X	X										X		X	
A2021a	X						X				X			X	
A2021b								X	X		X			X	
A2019	X								X	X	X				
Artigos em revistas nacionais															
A2023d	X										X			X	
A2022								X			X			X	
A2017	X		X		X				X						
Livros															
L2023a	X		X				X				X			X	
L2023b	X		X				X				X			X	
Capítulos															
Cap2022	X	X					X								
Cap2019	X						X			X	X			X	
Comunicações em eventos internacionais															
C2023a	X									X	X				
C2023b								X			X			X	
C2023c								X						X	
C2022a	X								X						
C2022b	X		X												
C2022c							X				X			X	
C2022d							X				X			X	
C2020a	X								X	X					
C2020b	X		X						X						
C2020c							X		X		X			X	
C2019a	X		X												
C2019b	X				X				X						

C2019c					X	X		X	X
C2018a	X						X		X
C2018b	X		X						
C2018c	X			X					X
C2018d				X		X			X
C2018e				X		X			X
C2017a	X						X		X
C2017b	X								
Posters em eventos internacionais									
P2018	X			X					
P2017	X						X		X
Comunicações em eventos nacionais									
C2022e	X							X	X
C2022f	X							X	X
C2022g	X	X						X	X
C2022h					X			X	X
C2022i					X			X	X
C2021	X							X	X
C2019d	X	X	X				X		
C2018f						X			X
Plataformas digitais									
Site google	X				X				
Relatórios									
R2023	X	X	X					X	
R2018	X	X	X	X	X	X	X	X	

Nota: JM, JPS, ATC, ID LLM, RS, JB, SO são as iniciais dos nomes da equipa de projeto; ILNEC – Investigador do LNEC; DO – Dono de obra, IIE – Investigador de instituição estrangeira; PUIN – Professor universitário de instituição nacional; PUIE - Professor universitário de instituição estrangeira; AI – Aluno; EE – Representante de empresa.

No Quadro 4.5 indica-se a relação dos trabalhos realizados com as diversas tarefas propostas no projeto RESTATE.

Quadro 4.5 – Distribuição das publicações constantes nos indicadores de desempenho nas diversas tarefas

Atividade Tarefa	A1		A2			A3	A4
	T1.1	T1.2	T2.1	T2.2	T2.3	T3.1	T4.1
Edição de revista internacional							
ERI2023		X	X	X	X	X	X
ERI2020-2023		X	X	X	X	X	X
Artigos em revistas internacionais							

A2023a				X			
A2023b	X	X	X	X	X	X	X
A2023c			X			X	
A2021a			X	X		X	
A2021b			X				
Artigos em revistas nacionais							
A2023d			X				
A2022			X				
A2017	X						
Livros							
L2023a			X	X			
L2023b		X				X	
Capítulos							
Cap2022							X
Cap2019			X	X	X		
Comunicações em eventos internacionais							
C2023a			X				
C2023b				X			
C2023c			X				
C2022a			X				
C2022b	X		X		X	X	X
C2022c			X				
C2022d			X				
C2020a	X						
C2020b			X				
C2020c			X				
C2019a			X				
C2019b	X						
C2019c			X				
C2018a	X						
C2018b			X				
C2018c		X					
C2018d			X				
C2018e			X				
C2017a	X						
C2017b	X	X	X	X	X	X	X
Posters em eventos internacionais							
P2018			X				
P2017	X						
Comunicações em eventos nacionais							
C2022e			X				

C2022f		X		
C2022g		X		
C2022h		X		
C2022i		X		
C2021		X		
C2019d	X			
C2018f		X		
Relatórios				
R2023	X			

Finalmente, apresenta-se no Quadro 4.6 a distribuição das publicações entre 2017 e 2023.

Quadro 4.6 – Distribuição das publicações constantes nos indicadores de desempenho por ano

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Edição de revista internacional						1	
Artigos em revistas internacionais					2		3
Artigos em revistas nacionais	1					1	1
Livros							2
Capítulos			1			1	
Comunicações em eventos internacionais	2	5	3	3		4	3
Comunicações em eventos nacionais		1	1		1	5	
Posters em eventos internacionais	1	1					
Dissertações de mestrado	3		1			1	1
Relatórios		1					1

5 | Breve apreciação da atividade desenvolvida e desenvolvimentos futuros

A atividade foi desenvolvida, genericamente, de acordo com o inicialmente previsto, tendo sido possível atingir a maioria dos objetivos específicos das diversas tarefas, que estão descritos na ficha de projeto (em Anexo).

Apesar de a afetação de recursos humanos ter ficado abaixo do previsto, a duração do projeto foi alargada, permitindo que em alguns aspetos, nomeadamente no que se refere à publicação de resultados em artigos e comunicações, tenha sido possível ultrapassar as expetativas iniciais.

Os trabalhos efetuados motivaram o desenvolvimento de aplicações informáticas de “uso individual”, sendo necessário promover a sua migração para ferramentas informáticas de uso mais alargado, incluindo a sua integração/comunicação com o sistema gestBarragens.

Perspetiva-se que as metodologias desenvolvidas venham a ser utilizadas em futuros estudos por contrato, em diversas vertentes relacionadas com a atividade do DBB e de diversas unidades departamentais do LNEC.

De forma a poder dar-se continuidade à linha de investigação promovida no RESTATE, foi submetida uma candidatura interna, no âmbito do LNEC/E2I-21-27, com o projeto INFORMEDam: “*MachIne learning tools for safety control and predictive maintenance of existing dams*” (Contribuição das técnicas de aprendizagem automática para a monitorização da integridade estrutural de barragens). Com esta candidatura pretende-se continuar a potenciar a utilização de metodologias e ferramentas do domínio da aprendizagem automática para apoio às atividades de controlo de segurança de barragens, integrando resultados da monitorização para ações estáticas e dinâmicas e das inspeções visuais e identificando atempadamente eventuais cenários de dano ou relativos a eventos extremos. Com esta candidatura espera-se, também, que o LNEC apoie, através de uma bolsa de doutoramento, o desenvolvimento de uma tese nesta área de investigação, com especial foco na identificação de cenários de dano com recurso a modelos numéricos e com base numa abordagem de aprendizagem supervisionada.

No entanto, o desenvolvimento destas atividades depende da disponibilidade de recursos humanos habilitados, quer de investigadores do LNEC, quer de alunos ou bolsiros que possam desenvolver as dissertações de mestrado e as teses doutoramento no âmbito do projeto.

6 | Considerações finais

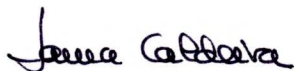
Neste relatório descrevem-se, de forma sucinta, os trabalhos desenvolvidos no âmbito do projeto RESTATE. A duração do projeto foi superior ao inicialmente previsto, embora a afetação de mão de obra alocada tenha sido significativamente inferior ao previsto na ficha do projeto. Os indicadores de desempenho foram todos ultrapassados e as metodologias desenvolvidas são de interesse para as atividades do DBB e para diversas unidades departamentais do LNEC. A concretização das aplicações informáticas em ferramentas de uso alargado por diversos utilizadores não foi possível. No entanto, considera-se que os trabalhos decorreram genericamente de acordo com o proposto na ficha de projeto, tanto ao nível da execução das várias tarefas do plano de trabalhos como no grau de cumprimento dos objetivos e realização dos indicadores.

De forma a poder-se dar continuidade à linha de investigação promovida no RESTATE, foi submetida uma candidatura interna, no âmbito do LNEC/E2I-21-27, com o projeto INFORMEDam: “*Machine learning tools for safety control and predictive maintenance of existing dams*”.

Lisboa, LNEC, janeiro de 2024

VISTO

O Conselho Diretivo



Laura Caldeira

Presidente do LNEC

AUTORIA



Juan Mata

Investigador Auxiliar



António Tavares de Castro

Investigador Principal

Chefe do Núcleo de Observação



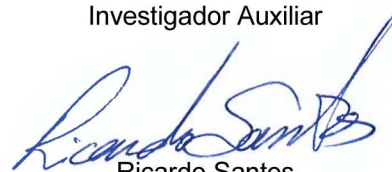
Sérgio Oliveira

Investigador Auxiliar



Ivo Figueiredo Dias

Investigador Auxiliar



Ricardo Santos

Investigador Auxiliar



Luís Lages Martins

Investigador Auxiliar



José Barateiro

Investigador Principal

Referências bibliográficas

- BISHOP, C. M., 2006 – **Pattern recognition and machine learning**. Oxford. Springer.
- GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A., 2016 – **Deep learning**. Cambridge, Massachusetts. The MIT Press 2016.
- IBRAHIM, D., 2016 – **An overview of soft computing**. Procedia Computer Science. Elsevier. 102, 34–38.
- LNEC, 2014 – **E2I - Estratégia de Investigação e Inovação 2013-2020**. LNEC. Relatório 397/2014 - CD.
- MARSLAND, S., 2016 – **Machine learning: an algorithmic perspective**. Second edition. Boca Raton, FL. Chapman & Hall/CRC 2014.

ANEXO

Ficha do projeto

**FICHA DE PROJETO DE I&D&I (versão2)
2013-2020**

1 - Dados Gerais

1.1 Identificação do projeto

Designação	Real-time decision support system for safety assessment of large concrete dams. The action cycle: Data-Information-Knowledge-Decision Making. Sistema de suporte à decisão em tempo útil para a avaliação da segurança de grandes barragens de betão. O ciclo de ação: Dados-Informação-Conhecimento-Tomada de decisão.
Acrónimo	RESTATE
Unidade Departamental proponente	DBB
Setor	NO
Investigador Responsável	Juan Mata
Duração (meses)	46
Data de início (ano-mês-dia)	01-03-2017

1.2 Inserção na matriz programática da EZI (indicar par(es) (Eixo programático, Temática prioritária))

Par principal (obrigatório)	E4, T3
Par secundário (opcional)	E5, T8

1.3 Entidades intervenientes

Entidade coordenadora	LNEC
Parceiros internos	DBB/NMMR; DE/NOE; ORG/NTIEC; DG/NBOH, CIC/NQM
Parceiros externos	
Entidade externa interessada	EDP
Financiamento externo (S/N)	N

1.4 Resumo

(max. 300 palavras)	<p>Several methodologies and procedures to support decision-making in the context of real-time safety control of large infrastructures are proposed, being concrete dams the main focus of this project. These methodologies will contribute to enhance: i) the quality control of the different measurements (Activity 1); ii) the analysis and interpretation of the structural behaviour, namely through short-term analysis and prediction (Activity 2), and iii) the safety assessment of the infrastructures (Activity 3). In practice, all the proposed methodologies and procedures will be implemented and tested with decision support tools developed in the gestBarragens system (Activity 4), that will be able to provide data and generate decision support information for the multiple decision makers involved in the structural safety control. The results of the proposed work will be disseminated through several reports and one book with a synthesis of all the developed methodologies and scientific papers to publish in national and international journals.</p> <p>Currently, there is a significant activity contracted by EDP - Energias de Portugal directly related to the subject and working program of this project. The working program presented will be developed in the time period of 5 years.</p>
---------------------	---

Activity 2 - Analysis, interpretation and prediction of structural response under static and dynamic loads.

The main objective of this activity is the development of new methodologies and computational applications for the **analysis** of data from static and dynamic monitoring systems using statistical approaches and modal identification techniques, **in order to make** comparison with results obtained from numerical models (3D finite element models of the dam-reservoir-foundation system).

This task is about the study and development of data-based models, based on time series forecasting techniques, for the prediction of the structural response, considering the previously observed structural behaviour and the measured data in real time. The study of time series prediction methods is proposed with the objective of finding the best strategy for time series decomposition in four elements: trend, seasonal effects, cycles and residuals. A time series is a set of statistics, usually collected at regular intervals. The aims of time series analysis are to describe and summarize time series data, fit low-dimensional models and make forecasts. As case studies, the measurement of the direct and indirect effects usually observed (concrete temperatures, discharges, uplift pressures, displacements of points of the structure and its foundation, relative movements between blocks, stresses and strains) in concrete dams will be considered. This activity is splitted in the three main tasks:

Task 2.1 - Software application for the analysis of data from MDAS and ADAS, and its comparison with structural models. The aim is set at proceeding and consolidating ongoing research at LNEC in order to create a robust, efficient and innovative software application for automatic online processing of data collected using MDAS and ADAS measurements, allowing the tracking with data based models from structural models.

Task 2.2 - Software application for the analysis of data from dynamic monitoring systems. The aim is the improvement and conclusion of the software application for the archive, analysis and presentation of data from dynamic monitoring systems, namely for modal identification and automatic comparison with numerical results from 3D finite element models of the dam-reservoir-foundation system.

Task 2.3 - Development of time series prediction methods are proposed in this task with the objective of finding the best strategy for time series decomposition in four elements: trend, seasonal effects, cycles and residuals. A time series is a set of statistics, usually collected at regular intervals. The aims of time series analysis are to describe and summarise time series data, fit low-dimensional models, and make forecasts. Moving averages (MA), autoregressive (AR), autoregressive-moving average (ARMA), and autoregressive integrated moving average (ARIMA) models are some models that will be studied for the purpose of short time prediction, proposed in this task.

As case studies, the measurement of the direct and indirect effects usually observed (concrete temperatures, seepage, uplift pressures, displacements of points of the structure and its foundation, relative movements between blocks, stresses and strains) in concrete dams will be considered.

2 - Fundamentação

(síntese do estado da arte, identificação de problemas por resolver, motivações internas e/ou externas)

The safety control of important civil engineering structures, involving monitoring data and numerical modelling, is an important challenge being faced by structural engineers [1-4]. The main concern, for detecting possible malfunctions as early as possible, is the real-time assessment of the structural behaviour under operating conditions. For an effective real-time decision, confidence in the measured data is crucial. Additionally, it must be possible to interpret these data (through adequate data based methods) in order to properly assess the structural's behaviour and condition (with the support of reliable numerical models).

In Portugal, LNEC is involved on the safety control of the Portuguese main dams from the design to the construction stage. The research team of this project include main responsible for the development of the support system used by LNEC, EDP-Energias de Portugal and other entities, for monitoring, diagnosis and safety control of large infrastructures in Portugal and abroad.

Nowadays, for controlling the structural safety of large concrete dams under operating conditions, the collected data is usually analysed using statistical models for effects separation (environment loads and time effects) [7-11]. The results of these statistical models are compared against the results from deterministic models, like finite element models, and synthesis graphics are automatically generated and periodically sent to the technicians in charge [5].

In the recent context, the main threat for real-time decision is the inability to timely detect scenarios of abnormal structural behaviour that may originate an accident. Therefore, the current main challenge of real time structural safety control, through the use of (automated) monitoring systems, is related to the continuous improvement of the management, validation, archiving and exploration of the information, and to the implementation of a quality control process for the measured data [12,13].

As a consequence, the main research tasks proposed in this project address the different activities of structural safety control, and can be summarized in three questions (Q1, Q2 and Q3): Q1 (Monitoring): Can it be ensured that the measurement frequency is suitable and the measured data is reliable? Two situations will be studied within this subject: i) the cases where there is redundancy of measurements of the same physical quantity (e.g. manual and automated measurements), and ii) the situations where there are only automated measurements. Q2 (Analysis and interpretation): Can the analysis and interpretation of the monitoring data be improved? In this case, data-based models based on time series forecasting techniques for the short-term prediction of structural response will be approached. Q3 (Safety assessment and decision-making): Is an early warning of abnormal behaviour possible and reliable? The early detection of a abnormal scenario will be addressed by combining information provided by monitoring systems, along with results obtained from numerical simulations.

The new advanced developed algorithms will be implemented in an ongoing management information system developed by LNEC [14,15], that will allow warning the entities responsible for the structural safety control, with clear benefits related to a timely intervention [16-20]. The main case studies used to validate the proposed methodologies will be related to large concrete dams, being expected to adapt and test the proposed methodologies through other large structures, such as bridges.

The working program presented will be developed in the time period of 5 years and there is a significant activity contracted by EDP - Energias de Portugal directly related to the subject and working program of this project, namely the safety control of the Baixo Sabor dam including the exploitation of its automated data acquisition system.

3 - Objetivos

(indicar para além dos objetivos científicos do projeto, os objetivos do investigador responsável e das entidades envolvidas)

The safety and serviceability assessment of large infrastructures (such as dams and bridges), under static and dynamic loads, is actually one of the greatest challenges faced by modern structural engineering.

The main aim of structural safety and serviceability assessment consists of characterizing the expected structural behaviour, by resorting to models previously calibrated by comparing their results with measurements and parameters obtained from the continuous monitoring.

Based on this comparison, decisions regarding not only maintenance, but also civil protection, can be undertaken, preferably in real-time.

The success of safety assessment approaches, whether these are based on numerical modelling or data-driven strategies, relies on the quality of the data gathered and the effectiveness of its analysis and interpretation. Errors can appear into data analytics processes at any stage of the structure's life and serious issues can result when they do. Hence, one goal of this research work is to develop methodologies capable of ensuring that reliable monitoring data is acquired in real-time (Activity 1).

Following Activity 1, the system to be developed aims at being capable of analysing, interpreting, predicting and classifying the structural behaviour in the short term (Activity 2), after which the main objectives consist of assessing the structural condition and early-warning detection of abnormal scenarios (Activity 3). Based on the results and achievements of all these three tasks, decision support tools, as a part of the gestBarragens system, capable of outputting the results of the structural assessment will be developed (Activity 4).

The main ideas and the relation between the tasks are illustrated in attached Figure 1. The implementation of the proposed methodologies in a decision support system is a solid step for the improvement of structural safety control in real time, as supported through the business model presented in Figure 2.

4 - Contribuições inovadoras

(indicar as contribuições para o reforço dos conhecimentos, das competências e/ou dos recursos experimentais do LNEC)

This project will provide LNEC with several tools that improve the safety control of large infrastructures and can support the decisions to be taken by the infrastructures owners and by the authorities. The main contributions can be grouped in four modules:

i) Data quality verification. This component is essential for implementing outlier and anomaly detection procedures and mechanisms, which prove to be suitable for manual and automatic data acquisition systems, for monitoring civil engineering structures.

ii) Analysis and interpretation. This component is responsible to implement the analysis and interpretation mechanisms that entail the "expert" component of the overall decision support system. This module relies on verified data controlled by the data quality verification module.

iii) Safety assessment. Based on the results produced by the analysis and interpretation module, this module will explore the concept of overall safety assessment through advanced interpretation of the data and alarm techniques. Additionally it will be fully integrated with the overall information system, which makes possible, for the decision makers, to interpret aggregated warnings and drilling-down to the granular data that is supporting any decision.

iv) Data visualization and exploitation. The work to be developed in this project will make possible to generate new and valuable information coming from the data analysis. In fact, the aim is set at exploring new indicators that can be further analysed for better decision making.

5 - Metodologia

(descrição da abordagem e dos métodos teóricos e/ou experimentais a utilizar)

Decision support systems are critical tools for short-term and long-term (informed) decisions in multiple areas. This program will be developed throughout several tasks contemplating four main activities of the structural safety control: i) quality control of monitoring data, ii) analysis and interpretation of the structural behaviour under static and dynamic loads, iii) safety assessment, and iv) decision-making. The four activities proposed are described as following (see Fig. 1):

Activity 1 - Quality control of monitoring data. The quality of data obtained from monitoring systems are directly related to the quality and reability of all the elements of the monitoring chain (measuring devices, record systems), that are not part of the study of this project. In this task, the aim is set at continuing and consolidating ongoing research developed at LNEC, in order to create a robust, efficient and innovative software application for controlling the quality of the monitoring data. The outlier detection is the primary step in most of data analysis applications. For this reason, several methods for outlier detection will be approached. The advantages of univariate vs. multivariate techniques and parametric vs. nonparametric procedures will be addressed in this task. Aspects related to the robustness of the used estimators will also be addressed. Two situations will be studied: i) the cases where there is redundancy of measurements of the same physical quantity (e.g. manual and automated measurements), and ii) the situations where there are only automated measurements. This activity is subdivided in the two main tasks:

Task 1.1 - Quality control of monitoring data based on measurement uncertainties. The measurand is always unknown and there is no simple rule to validate the measurement result performed by the measurement system. However, there are procedures that allow for its characterization, and which limit the magnitude of their associated errors and uncertainties. The more knowledge there is about the errors and uncertainties associated with the measurement results, the more effective will any structural assessment strategy or system relying upon the data at hand.

In order to take advantage of the redundancy of measurement systems (automated data acquisition systems, ADAS, or manual data acquisition systems, MDAS) and the confidence in the manual measurements, the aim is set at developing a quality control procedure for the assessment of ADAS measurements, that takes into account the measurement uncertainties. The objective of the proposed quality control method for paired (ADAS, MDAS) measurements is to conduct a statistical location test to compare two sets of measurements (ADAS and MDAS measurements) to assess whether their averages differ. Near zero differences between ADAS and MDAS data are expected (if measured at the same time). A case study with an application of the quality control method for paired (ADAS, MDAS) measurements of a structural behaviour under operation conditions will be presented.

Task 1.2 - Quality control of monitoring data based on multivariate statistical process control charts. Immediately after a measurement is obtained, and/or before it is stored it must be validated through the predefined thresholds in order to eliminate potential outliers. Most of outlier detection techniques for data analysis are based on distance measures, clustering and spatial methods. For situations where there are only automated measurements, the development of multivariate statistical process control charts will be performed in order to take advantage of the availability of on-line process computers which routinely collect measurements on large numbers of process variables. Application of methodologies to validate data obtained manually and through automated monitoring systems, based on statistical quality control of new measurements, using Multivariate Statistical Process Control Charts, such as multivariate Shewhart type control charts, multivariate CUSUM control charts and multivariate EWMA control charts will be tested using measurement data obtained from concrete dams under operation.

Activity 3 – Early detection of developing damage scenarios (Task 3.1). The main objective of this activity is to assess whether the measurements obtained through automated data acquisition systems (ADAS) indicate the development of scenarios related to abnormal dam behaviour. The expected magnitude of the physical quantities to be measured within these scenarios will be estimated using mathematical models. These studies will also allow the selection of redundant measurement subsystems which can confirm the occurrence of an abnormal structural behaviour related to damage scenarios. To improve the effectiveness of the structural safety control in real time, methods based on the construction of decision rules for the early detection of developing abnormal dam behaviour scenarios will be proposed. These decision rules will be based on the use of supervised machine learning models developed with data obtained through mathematical models of the structural behaviour, for scenarios related to abnormal dam behaviour, and real observed data (physical quantities measured through the use of automated monitoring system) that represent the normal structural behaviour. The aim is to combine the physical measured quantities, appropriately weighted, into a new single index allowing the classification of the observations into one of two classes: normal or abnormal behaviour (with potential to develop an incident or accident scenario). Case studies will be based in real dams under operation conditions.

Activity 4 – Development of a decision support system (Task 4.1), designed for the structural safety control and serviceability assessment of concrete dams, will be proposed, supported in the research results produced in **activities 1 to 3**. It will take advantage of the existing support system for monitoring and safety control of concrete dams, GestBarragens, that is under development, by LNEC, since early 2000. The main aim is to integrate new computer-based information tools composed by four major components: i) data quality verification; ii) analysis and interpretation; iii) safety assessment; and iv) data visualization and exploitation. In fact, decision support systems can be seen as computer-based information systems that provide interactive information support to the decision making process of managers and business users. They must be designed to give a quick and interactive response to the ad hoc queries and information needs of business users. To advertise and inform the scientific community and the general audience of the main project activities and results, three different means will be used. First, the software will be available to other organizations for demonstration. Second, scientific publications will be presented and published in international conferences and journals, respectively. Finally, it will also intend to explain the developed research work through two seminars (to be done in the beginning of the third and fifth years) and two short courses (to be done in the third and sixth years).

Referencias Bibliográficas:

- [1] Fib - Task Group 5.1. (2003). Monitoring and safety evaluation of existing concrete structures. State-of-the-Art Report. Lausanne, Switzerland.
- [2] Farrar, C. R; Worden, K. (2007). An introduction to structural health monitoring. Philosophical transactions. Series A, Mathematical, physical, and engineering sciences, 365(1851), pp.303–315.
- [3] ICOLD (2013). Dam surveillance guide. Bulletin number 158. International Commission on Large Dams.
- [4] ICOLD (2013). Guidelines for use of numerical models in dam engineering. Bulletin number 155. International Commission on Large Dams.
- [5] Tavares de Castro, A.; Mata, J.; Barateiro, J.; Miranda, P. (2012). Information management systems for dam safety control. The Portuguese experience. In First Dam World Conference. IBRACON, Maceió, Brazil.
- [6] Barateiro, J.; Santos, J.; Mata, J.; Borbinha, J.; Antunes, G. (2009). Long-term data management and the safety of large civil engineering structures. In Proceedings of the 5th IEEE International Conference on e-Science, Oxford, United Kingdom.

- [7] Mata, J. (2011) Interpretation of concrete dam behaviour with artificial neural network and multiple linear regression models. *Engineering Structures*. Elsevier. 48(3):903–910. doi:10.1016/j.engstruct.2010.12.011.
- [8] Léger, P.; Leclerc, M. (2007). Hydrostatic, temperature, time-displacement model for concrete dams. *Journal of Engineering Mechanics*. ASCE. pp.267-277.
- [9] Mata, J.; Tavares de Castro, A.; Sá da Costa, J. (2013). Time-frequency analysis for concrete dam safety control: Correlation between the daily variation of structural response and air temperature. *Engineering Structures*. Elsevier. 48(3):658–665. doi:10.1016/j.engstruct.2012.12.013.
- [10] Mata, J.; Tavares de Castro, A.; Sá da Costa, J. (2013). Constructing input for statistical models for arch dam deformation prediction. *Structural Control and Health Monitoring*. doi:10.1002/stc.1575.
- [11] Lemos, J.; Gomes, J. (2007). Modeling seismic failure scenarios of concrete dam foundations, chapter 30. Taylor & Francis.
- [12] Mata, J. (2013). Safety control of control of concrete dams aided by automated monitoring systems. PhD Thesis, Technical University of Lisbon, Portugal.
- [13] Mata, J.; Tavares de Castro, A.; Sá da Costa, J. (2010). Quality control of dam monitoring measurements. 8th ICOLD European Club Symposium, Austria.
- [14] Turban, E., Sharda, R., Delen, D. (2010). Decision support and business intelligence systems (9th eds). Pearson Education, Inc.. New Jersey, USA.
- [15] Yin, Z.; Li, Y. (2010). Intelligent decision support system for bridge monitoring. *International Conference on Machine Vision and Human-Machine Interface*, 491-494, 2010. doi: 10.1109/MVHI.2010.203
- [16] Mata, J.; Tavares de Castro, A.; Sá da Costa, J. (2012). Threshold definition for internal early warning systems for structural safety control of dams. Application to a large concrete dam. *First Dam World Conference 2012*, Brazil.
- [17] Mata, J.; Schclar Leitão, N.; Tavares de Castro, A.; Sá da Costa, J. (2014). Construction of decision rules for early detection of a developing concrete arch dam failure scenario - A discriminant approach. *Computers and Structures*. Elsevier. 142 (2014) 45–53. doi: 10.1016/j.compstruc.2014.07.002
- [18] Santos, J. P. (2014). Smart structural health monitoring techniques for novelty identification in civil engineering structures. PhD Thesis, Technical University of Lisbon, Portugal.
- [19] Santos, J.; Crémona, C.; Orcesi A. D.; Silveira, P. (2013). Multivariate statistical analysis for early damage detection. *Engineering Structures*; 56: 273-285; 2013. DOI: 10.1016/j.engstruct.2013.05.022 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029613002459>
- [20] Santos, J., Orcesi, A. D., Crémona, C., Silveira, P. (2014). Baseline-free real-time assessment of structural changes. *Structure and Infrastructure Engineering, Maintenance, Management, Life-Cycle Design & Performance*. 11(2): 145-161. DOI:10.1080/15732479.2013.858169. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15732479.2013.858169#.VMaRqf6sV4g>

6 - Plano de Trabalhos

Atividade	Designação da Atividade	Tarefa	Designação da Tarefa	1 ^o Semestre	2 ^o Semestre	3 ^o Semestre	4 ^o Semestre	5 ^o Semestre	6 ^o Semestre	7 ^o Semestre	8 ^o Semestre
Activity 1	Quality control of monitoring data	T1.1	Quality control of monitoring data based on measurement uncertainties								
		T1.2	Quality control of monitoring data based on multi-variate statistical process control charts								
Activity 2	Analysis, interpretation and prediction of structural response under static and dynamic loads	T2.1	Software application for the analysis of data from MDAS and ADAS monitoring systems, and its comparison with data based models from structural mechanical models								
		T2.2	Software application for the analysis of data from dynamic monitoring systems								
		T2.3	Development of time series prediction models								
Activity 3	Early detection of developing damage scenarios	T3.1	Construction of decision rules for the early detection of developing incidents and accident scenarios								
Activity 4	Development of a decision support system	T4.1	Development of a decision support system for the structural safety control and serviceability assessment of concrete dams								

8 - Resultados expectáveis

Resultados por atividade/tarefa	Descrição
<i>(descrever os resultados esperados por actividade e/ou tarefas)</i>	
Activity 1	<ul style="list-style-type: none"> - Procedures for outlier detection and raw data validation. - To improve the existing experience and knowledge related to the use of Multivariate Statistical Process Control Charts for automated data validation. - Expected publications: one paper in an international peer reviewed journal related to the comparison between ADAS and MDAS measurements for quality control based on measurement uncertainties, and two conference papers related to the use of multivariate statistical process control charts for the quality control of measurements.
Activity 2	<ul style="list-style-type: none"> - A computational application for the comparison of the observed data, the results from quantitative interpretation models and the results from structural mechanical models (3D Finite Element Models). - New methodologies based on time series methods for the short term prediction of the structural behaviour of large dams. - Expected publications: two papers in international peer reviewed journals, three conference papers and one master thesis related to the use of time series and wavelet transform methods for short time interpretation and prediction of the dam behaviour. The publications will be focusses in several case studies in order to approach a range of real situations.
Activity 3	<ul style="list-style-type: none"> - New procedures for the construction of decision rules for the early detection of anomalous structural behaviour associated, or not, to the development of an incident or accident scenario. - Expected publications: one paper in an international peer reviewed journal, two conference papers and one master thesis related to the early detection of anomalous structural behaviour associated to several occurrences, nemely due to: the deterioration of the drainage curtain in a concrete dam and earthquakes.
Activity 4	<ul style="list-style-type: none"> - Computational applications, to be implemented in the gestBarragens system, to support the activities related to the safety control of large infrastructures. - Expected publications: one paper in a national journal and three conference papers with case studies to explain, to experts and potential users, the aim of the computational solutions developed.

Outros resultados	Quantidade
Teses	
<i>mestrado</i>	2
<i>doutoramento</i>	
<i>outras</i>	
Artigos em revista	
<i>nacional</i>	1
<i>internacional</i>	4
Comunicações	10
Outros produtos	
<i>Livro</i>	1

9 - Recursos humanos

Grupo	Esforço (h*m)	Valor €
1	0,00	0,00
2	14,00	79.800,00
3	8,40	29.400,00
4	0,00	0,00
11	33,60	134.400,00
12	16,80	33.600,00
13	0,00	0,00
21	0,00	0,00
22	0,00	0,00
23	0,00	0,00
TOTAL	72,80	277.200,00

10 - Despesas correntes

Designação	Quantidade	Valor unitário €	Montante €
Participação em congressos	8	2.000,00	16.000,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			16.000,00

11 - Equipamento

Designação	Quantidade	Valor unitário €	Montante €
Computador	1	800,00	800,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
			0,00
TOTAL			800,00

12 - Orçamento

Designação	Estimativa de custo €	Financiamento externo €	Financiamento LNEC €
Recursos Humanos	277.200		277200
Despesas Correntes	16.000		16000
Equipamentos	800		800
Gastos gerais	280.560		280560
			0
			0
Total	574.560	0	574.560

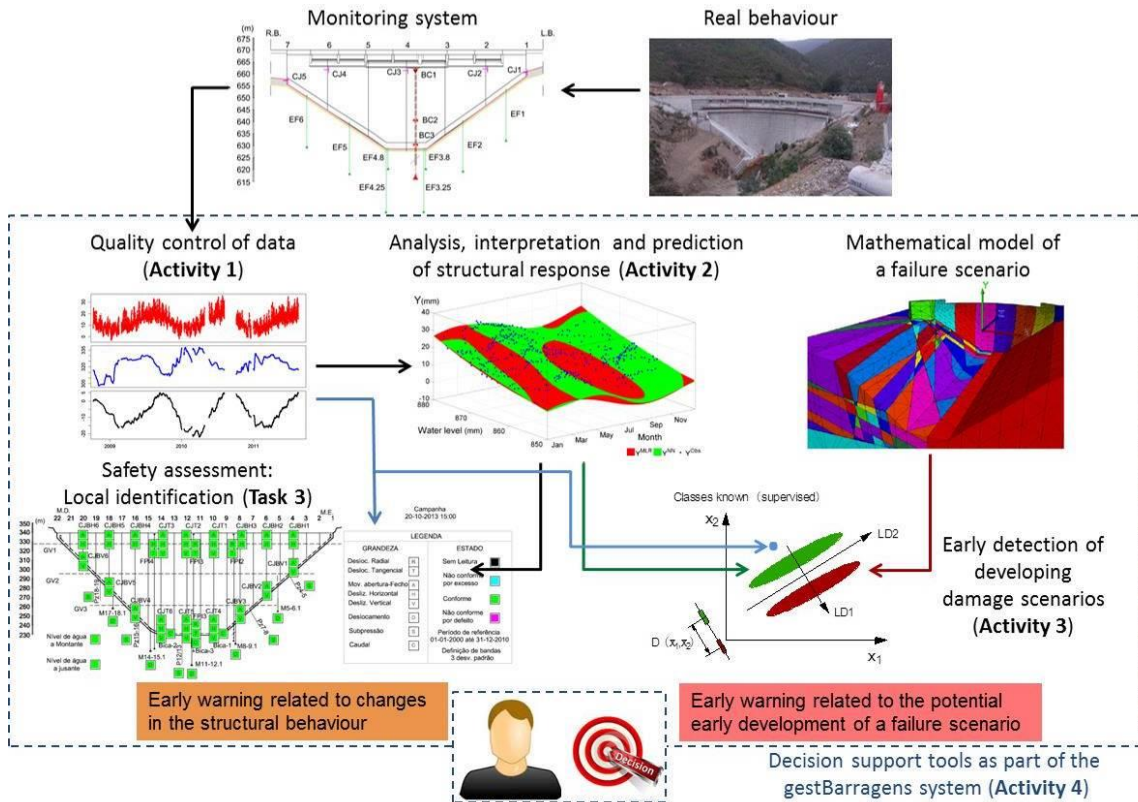
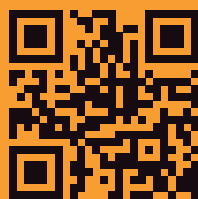


Figura I.1 – Relação entre as atividades principais do projeto RESTATE

Canvas Business Model of the proposed plan	Key Partners <ul style="list-style-type: none"> - LNEC (host institution) - Owners of civil infrastructures: EDP- Energias de Portugal and Agência Portuguesa para o Ambiente (APA). 	Key Activities <ul style="list-style-type: none"> - Research - Development of case studies - Software development - Demonstration - Dissemination - Stakeholders awareness 	Value Proposition <ul style="list-style-type: none"> - Identification and mitigation of several problems related to the quality of monitoring data of large structures - Promotion of a real-time structural safety culture - Risk mitigation of incidents and accidents related to infrastructures - Scientific and technical improvement 	Customer relationships <ul style="list-style-type: none"> - Based on knowledge improvement - Legal issues 	Customers <ul style="list-style-type: none"> - EDP-Energias de Portugal, APA, Autoridade Nacional de Proteção Civil, PRODEL, IBERDROLA and International organizations such as ICOLD.
	Key Resources <ul style="list-style-type: none"> - Data from monitoring system of large civil infrastructures, such as dams and bridges 	Channels <ul style="list-style-type: none"> - In situ activities (inspection to the infrastructures) - Meetings - Web (based on the decision support system) 	Costs <ul style="list-style-type: none"> - Scholarship - Transportation to the civil infrastructures and accommodation - Conferences and dissemination (scientific, key partners and other stakeholders) 	Benefits <ul style="list-style-type: none"> - Turn available a decision support system for real time safety assessment of large infrastructures - Promotion of the communication between different entities responsible for safety (of people and infrastructures) - Knowledge transference to the main stakeholders 	

Figura I.2 – Canvas Business Model do projeto RESTATE



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt