As potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão

https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.31

Carlos Serra[1]

[1] *Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa*

Resumo

Um aproveitamento hidroelétrico consiste num sistema constituído pela estrutura resistente, as estruturas hidráulicas, o maciço de fundação e a albufeira. Este tipo de empreendimento envolve desafios hidrológicos, estruturais e geotécnicos, apoiados por ensaios de prospeção e de caracterização dos materiais e planos de observação e instrumentação.

As barragens de betão são estruturas que apresentam um elevado risco potencial e um elevado custo operacional, associado à perda de funcionalidade, no caso de rotura. O controlo de segurança estrutural visa reduzir esse risco e divide-se, em geral, em três atividades: i) monitorização, i.e., na exploração do sistema de observação e na realização de inspeções visuais regulares e de ensaios de caracterização; ii) análise e interpretação dos resultados da observação através de modelos estatísticos e modelação numérica, iii) avaliação da segurança e tomada de decisão.

A metodologia Building Information Modelling (BIM) permite definir uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, desde a fase de projeto, construção, exploração e abandono e demolição.

Este trabalho descreve as várias vertentes do controlo de segurança estrutural de barragens de betão, com particular foco na fase de exploração. Discutem-se as principais potencialidades e desafios da implementação BIM adaptada estas atividades, em particular a aplicação de um sistema de classificação, a definição de regras de modelação de objetos específicos e definição de parâmetros, a interligação entre o modelo, os sistemas de gestão de informação existentes e os resultados das inspeções visuais, o apoio à análise estrutural e à tomada de decisão.

1. Introdução

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [1] enquadra as várias atividades relacionadas com o controlo de segurança das grandes barragens em Portugal e define os vários intervenientes e as suas responsabilidades. De acordo com o RSB, grandes barragens correspondem a barragens com mais de 15,0 m de altura (desde o ponto mais baixo da inserção na fundação) ou a barragens de altura igual ou superior a 10 m que originem uma albufeira com volume superior a 100.000 m^3.

Os aproveitamentos constituem sistemas complexos que englobam a estrutura, as estruturas hidráulicas, o maciço de fundação e a albufeira. Cada um destes elementos envolve um risco potencial para a ocorrência de danos nas populações vizinhas, bem como danos materiais e ambientais significativos. O RSB visa a definição das exigências legais associadas ao projeto, construção, primeiro enchimento, exploração, manutenção e abandono destes elementos. Como complemento ao RSB, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA) disponibilizou um conjunto de documentos que especificam mais detalhadamente as atividades [2].

O controlo de segurança estrutural divide-se, em geral, em três atividades: i) monitorização, *i.e.*, na exploração do sistema de observação e na realização de inspeções visuais regulares e de ensaios de caracterização; ii) análise e interpretação dos resultados da observação através de modelos estatísticos e modelação numérica, iii) avaliação da segurança e tomada de decisão.

A monitorização das ações e da resposta das estruturas é uma das principais atividades para o controlo de segurança, não só a curto prazo para manutenção corrente mas também para a eventualidade de eventos extremos e a avaliação e deteção de cenários de deterioração. Os dados de monitorização devem ser utilizados na análise e interpretação do comportamento da estrutura e, no caso de serem identificados desvios ao comportamento expectável que poderão comprometer a segurança, devem ser tomadas medidas por forma a restabelecer o nível de segurança adequado.

Em Portugal, o controlo de segurança das barragens compete às entidades da Administração Pública (APA, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, LNEC, e Autoridade Nacional de Proteção Civil, ANPC), à Comissão de Segurança de Barragens (CSB) e ao dono de obra. Estas entidades interagem entre si, desde a fase de projeto até ao eventual abandono no sentido de manter o nível de segurança destas obras. O desafio associado ao controlo de segurança é considerável dada a complexidade e quantidade de informação gerada neste tipo de obras. Para além disso, desde o início do projeto até ao final da construção poderão decorrer décadas.

A metodologia *Building Information Modelling* (BIM) permite definir uma abordagem sistemática para o desenvolvimento das atividades de controlo de segurança de barragens, desde logo para melhor interação e troca de informação entre os intervenientes, definição de nomenclaturas universais para os diversos elementos e atividades, uniformização da informação necessária ao desenvolvimento de cada atividade,

desenvolvimento de modelos tridimensionais para o apoio ao projeto, construção e exploração das obras, desenvolvimento de ferramentas de automatização para o tratamento de dados de monitorização e de apoio à decisão, entre outros.

Recentemente, Argyroudis *et al.* [3] exploram as possibilidades e desafios relacionados com utilização de tecnologias digitais para aumentar a resiliência das infraestruturas face às ações climáticas. Apontam a *Internet of Things* (IoT), os *Digital Twins*, realidade virtual e aumentada, as nuvens de pontos, a Inteligência artificial e a metodologia BIM como tecnologias emergentes para apoiar decisões fiáveis e reduzir as incertezas relacionadas com a avaliação de segurança. O trabalho revisão bibliográfica de Panah e Kioumarsi [4] permite ter uma visão global da importância crescente das aplicações BIM na monitorização e manutenção de estruturas. Jeong *et al.* [5] apresentam uma *framework* para a gestão da informação associada à monitorização de pontes com a integração dos instrumentos instalados em obra num modelo tridimensional, os resultados obtidos ao longo do tempo e imagens de tráfego. Por sua vez, Sacks *et al.* [6] demonstram as potencialidades de um sistema de gestão integrado da monitorização de pontes que inclui a utilização sistemática de nuvem de pontos, na perspetiva *Scan to BIM*. Este trabalho apresenta a mais-valia de se apoiar numa extensão para pontes da *Industry Foundation Classes* (IFC).

A metodologia BIM tem sido adotada cada vez mais correntemente em Portugal, tanto na fase de projeto [7], [8] como na fase de manutenção [9], [10], sendo de destacar o trabalho aplicado de Sousa et al. [9] através do qual demonstram as possibilidades da incorporação dos resultados de inspeções em pontes num modelo BIM, tendo em consideração regras de modelação, níveis de desenvolvimento e metodologias de representação. Existem também exemplos de estudos específicos aplicados a barragens de betão [11]–[15] e a barragens de aterro [16]. Díaz *et al.* [15] apresenta algumas aplicações da metodologia BIM aplicada a estruturas hidráulicas, incluindo o desenvolvimento da plataforma ODIS – *Online Dam Information System* para a integração dos dados de observação num modelo tridimensional de uma barragem de betão. O estudo de Heleno [16] incidiu particularmente em barragens de aterro e permitiu desenvolver uma metodologia para a organização e exploração dos dados de observação e integração num modelo tridimensional em BIM [16].

Esta comunicação tem como objetivo a apresentar as principais atividades envolvidas no contexto do controlo de segurança estrutural de barragens de betão, com particular foco na fase de exploração, dar o enquadramento da aplicação da metodologia BIM neste tipo de atividade e apontar os desafios da sua implementação em Portugal.

2. Implementação BIM adaptada ao controlo de segurança estrutural de barragens de betão

2.1. Principais elementos para implementação BIM

À semelhança de outros exemplos [11], [16]–[18], existe a necessidade de estabelecer uma estratégia para a implementação BIM, neste caso no contexto e premissas do RSB. A estrutura do RSB constitui uma base para o estabelecimento da responsabilidade de cada interveniente e da relação entre eles. Dado o seu âmbito alargado, não restringe a utilização de ferramentas de apoio ao desenvolvimento das atividades.

A definição de uma estratégia para a realidade portuguesa passa necessariamente pela concertação dos vários intervenientes, nomeadamente a APA, o LNEC, a ANPC, a CSB e os donos de obra. As diferentes capacidades de investimento dos donos de obra existentes em Portugal constituem, desde logo, um desafio para a implementação de uma metodologia BIM abrangente, particularmente para obras já existentes. Apesar disso, poderão ser desenvolvidos procedimentos centralizados para o apoio a esta implementação tanto para obras novas como para obras existentes de grandes dimensões.

Nesta comunicação propõe-se, de uma forma geral, os elementos para a definição dessa estratégia e identificam-se as várias componentes existentes no controlo de segurança de barragens, em particular os integrantes no sistema de gestão da informação e no modelo BIM. A estrutura dos processos durante a aplicação da metodologia BIM deverá seguir, com as adaptações necessárias, o definido na EN ISO 19650-1:2018 [19], na EN ISO 19650-2:2018 [22] e no relatório técnico CEN/TR 17439 [23].

Fazendo um paralelo com as atividades correntes da industria AEC, a natureza da atividade de controlo de segurança aproxima-se da manutenção de ativos, o que corresponde a um nível de avançado do processo de produção de informação [19]. Um dos principais desafios relaciona-se com adaptação das normas à realidade portuguesa do RSB e às especificidades das atividades desenvolvidas, em particular durante a fase de exploração (por exemplo, a execução e incorporação dos resultados de inspeções, a utilização de um sistema de gestão da informação integrado ao modelo BIM, a existência de intervenientes reguladores da Administração Pública). A identificação e relação entre os intervenientes, nomeadamente o papel das Autoridades Nacionais, a produção e trocas de informação nas várias fases do empreendimento e a transposição dos conceitos base definidos nas normas de uma forma transversal a nível nacional deverão ser objeto de discussão no meio técnico.

A Figura 1 representa esquematicamente os elementos constantes da atividade de controlo de segurança de barragens e a sua relação com um modelo BIM, que abarca toda a informação existente num determinado projeto, e um sistema de gestão da informação no âmbito do controlo de segurança. A utilização de um sistema de classificação e da filosofia *OpenBIM* deverão ter um papel central na estratégia de implementação, uma vez que permitem a ligação entre as várias componentes da

atividade e a interoperabilidade entre intervenientes. Os elementos identificados são: i) o sistema de monitorização; ii) as inspeções visuais; iii) os estudos específicos de monitorização; iv) a geometria e dados de construção; v) os ensaios e caracterização da fundação e dos materiais; vi) os dados e resultados de monitorização; vii) a interpretação, análise e controlo de segurança; e, viii) a documentação. Cada componente constitui uma parcela relativa à atividade de controlo de segurança que deverá estar incorporada na estratégia para o processo de implementação BIM.

O *Sistema de Información web de Presas* (*Online Dam Information System* – ODIS) desenvolvido pela empresa OFITECO e ViCon constitui um exemplo de uma ferramenta BIM que incorpora os dados de monitorização e um modelo tridimensional BIM [15]. O sistema permite a visualização dos dados através de séries temporais, a definição de modelos estatísticos e de avisos e alertas para a gestão dos planos de emergência através de um modelo tridimensional da barragem onde a informação pode ser acedida e visualizada, e incorpora a informação recolhida em inspeções visuais na base de dados. Por sua vez, Heleno [16], através da utilização de diversas plataformas tecnológicas, propôs um *workflow* para a integração dos dados de monitorização num modelo BIM de uma barragem de aterro, permitindo uma melhor perceção do comportamento da estrutura.

Estes exemplos demonstram as possibilidades e vantagens de um sistema integrado, no entanto, constituem apenas a parte tecnológica da metodologia BIM aplicada ao controlo de segurança estrutural. A par destes desenvolvimentos tecnológicos, os intervenientes neste tipo de atividades, em particular as instituições públicas envolvidas, poderão contribuir para a uniformização de conceitos, termos e processos, a nível nacional, no sentido de melhorar a comunicação e as trocas de informação. Esta contribuição poderá ser feita através da publicação de guias e recomendações.

Assim, os primeiros passos para a implementação BIM no contexto do controlo de segurança de barragens deverão incluir:

- Definição dos usos BIM associados a este tipo de atividade, para cada fase da obra;
- Definição dos requisitos de informação e níveis de informação necessários, segundo a EN 17412-1:2020 [22], para cada uso BIM, objeto e fase da obra;
- Definição de mapas de processos para cada tipo de atividade, definindo as interações e trocas de informação entre cada interveniente;
- Utilização de um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS) e atualização com termos relacionados com barragens de betão e o controlo de segurança estrutural;
- Definição de regras de modelação para a criação uniformizada de modelos e objetos BIM;
- Atualização da especificação do formato *Industry Foundation Classes* (IFC) no sentido de permitir a interoperabilidade entre diferentes ambientes BIM;

- Desenvolvimento de uma plataforma colaborativa para a troca de informação entre os intervenientes e das premissas para a sua utilização, preferencialmente fundada no formato *BIM Collaboration Format* (BCF);
- Constituição do sistema de gestão de informação para a interação com o modelo BIM e integração de módulos específicos para a informação obtida em ensaios e caracterização de materiais, em inspeções visuais e para a análise e interpretação dos resultados;
- Desenvolvimento de ações de formação sobre a utilização da metodologia BIM para a comunidade técnica.

Figura 1
Componentes do controlo de segurança estrutural de barragens e interligação entre o sistema de gestão da informação e o modelo BIM, no contexto da metodologia BIM.

Centrados na fase de projeto, alguns autores enumeram os desafios da implementação BIM, nomeadamente a mudança cultural, a lenta curva de aprendizagem, a formação e a facilidade de aquisição de competências dos intervenientes, a maior necessidade de envolvimento de equipa, a interoperabilidade, os direitos de autor e responsabilização, a elevada dimensão dos projetos [11], [23]. O trabalho de Monteiro e Lima [18] descreve, de uma forma geral, os desafios de implementação de metodologias BIM na indústria da construção, tipifica os perfis de implementação (equipas de projeto, empresas de construção, gestores de operação de edifícios e donos de obra e promotores) e apresenta alguns princípios operacionais por forma a otimizar o processo. Os princípios operacionais descritos são genéricos e válidos num enquadramento de alto nível, no entanto podem ser transpostos ao contexto do controlo de segurança de barragens, nomeadamente, a sistematização de processos de modelação e processos de trabalho em geral, a interação de modelos BIM com bases de dados externas e a utilização de plataformas colaborativas para partilha e submissão formal de modelos.

2.2. Definição de usos BIM e dos respetivos níveis de informação necessários

Decorrente dos objetivos associados à implementação BIM para o controlo de segurança, surgem os usos BIM que constituem as atividades/procedimentos que permitem atingir esse objetivo, através de determinados processos. Na Tabela 1 listam-se alguns exemplos de usos BIM nas fases de exploração, com especial foco no controlo de segurança de barragens de betão, para cada fase do empreendimento.

Tabela 1
Exemplos de objetivos, usos BIM e implementação.

Fase	Objetivo	Uso BIM	Implementação
Exploração	Obter uma representação tridimensi onal do sistema de monitorização	Modelação tridimensional	Criar objetos BIM paramétricos específicos para cada dispositivo de monitorização, com base na informação existente no Sistema de Gestão de Informação. Definir o nível de informação necessária associada a cada um dos objetos BIM.
	Apoio à interpretação e decisão	Registo e visualização de resultados de observação no modelo BIM	Potenciar a sincronização entre o modelo BIM e o Sistema de Gestão de Informação de forma a atualizar automaticamente ambos os sistemas.
		Registo e visualização de resultados de ensaios e de caracterização no modelo BIM	Desenvolver uma base de dados para a gestão dos resultados de ensaios obtidos durante a construção. Transpor os resultados dos ensaios para parâmetros de objetos definidos para o efeito.
		Visualização de alertas no modelo BIM	Estabelecimento de critérios para definição de alertas para cada tipo de instrumento. Definição de procedimentos para a visualização de alertas.
	Apoio às inspeções visuais	Visualização de ocorrências no modelo BIM	Normalizar conceitos, definições, propriedades e parâmetros (adaptados dos guias da ICOLD e da experiência portuguesa). Criar objetos BIM para cada tipo de ocorrência.
		Execução automática de fichas e relatórios de inspeção	Desenvolver um processo sistemático e uma plataforma para o registo de ocorrências e sincronização automática com o modelo BIM e com o sistema de gestão da informação. Automatizar a criação de fichas e relatórios de inspeção com base na informação disponível no modelo BIM.
		Obtenção de nuvens de pontos dos paramentos	Utilizar o modelo BIM georeferenciado para a registo e comparação de estados da obra obtidos por levantamento de nuvem de pontos

De acordo com a EN 17412-1:2020 [22], a base para o nível de informação necessário é a definição do objetivo ou uso BIM (razão pela qual se define a informação), o momento de produção e entrega da informação, de quem e para quem é a informação e sobre que objeto se trata a informação. A informação é definida, em termos de Informação Geométrica, Informação Alfanumérica e Documentação (Figura 8 da

EN 17412-1:2020 [22]). Ao especificar um nível de informação necessário de um determinado objeto, numa determinada fase do processo, define-se um detalhe geométrico e de informação do modelo adequado às necessidades de cada uso BIM. As necessidades de detalhe geométrico e de detalhe de informação alfanumérico poderão não coincidir para muitos dos objetos relacionados com o controlo de segurança e monitorização, por exemplo, o registo de uma ocorrência no decorrer de uma inspeção visual recorrer ao conceito de *Patch* com geometria simplificada, localização georreferenciada no modelo BIM e as diversas propriedades que lhe dizem respeito [9] ou a representação de instrumentos de observação de uma forma simplificada mas que contenha informação relativa à data de instalação, previsões de manutenção, fornecedores, constantes de calibração, estado operacional, resultados de observação, entre outros.

2.3. Utilização de sistema de classificação e interoperabilidade

Tendo como objetivo o desenvolvimento ou utilização de modelo BIM que integre a informação necessária no desenrolar das várias atividades de um determinado projeto, o elevado grau de complexidade e de informação existente implica a organização e sistematização de cada elemento de uma forma universal. Assim, um dos primeiros desafios na implementação BIM das atividades de controlo de segurança de barragens constitui a estruturação dos principais conceitos, definições, elementos e atividades que compõem o sistema barragem-fundação-albufeira, nomeadamente:

- Constituintes do sistema (por exemplo, maciço de fundação, barragem, órgãos hidráulicos, albufeira, …);
- Tipos de barragens (por exemplo, gravidade, arco-gravidade, abóbada, contrafortes);
- Definições geométricas (por exemplo, blocos, camadas de betonagem, juntas de betonagem, juntas de contração, encontros, paramentos, galerias, …);
- Atividades (por exemplo, consolidação da fundação, impermeabilização da fundação, injeção de juntas de contração, controlo de segurança, observação, inspeções visuais, ensaios laboratoriais, ensaios in situ, análise e interpretação, …);
- Definições do sistema de monitorização (por exemplo, fios de prumo, medidores de movimentos de junta, extensómetros de embeber no betão, extensómetros de varas, …).

Esta estruturação deverá integrada um Sistema de Classificação de Informação da Construção (CICS) existente [24], seguindo os pressupostos pré-definidos, por forma a haver maior compatibilidade entre especialidades e uma base comum para a identificação de objetos e para a interligação entre o modelo BIM e o sistema de gestão da informação.

No seguimento dos desenvolvimentos do projeto SECClasS (Sustainability Enhanced Construction Classification System), em consequência da análise de vários CICS [25], foi proposto o sistema de classificação Uniclass 2015 [26] para o contexto português.

Atualmente, está a ser desenvolvida uma ferramenta de pesquisa do Sistema de Classificação SECClasS [27], que constitui a tradução e adaptação para português do sistema Uniclass 2015.

Esta tarefa pode ser muito facilitada pela estrutura já proposta pela Comissão Internacional de Grandes Barragens (International Commission on Large Dams, ICOLD) através de disponibilização e codificação de vários termos relacionados com a engenharia de barragens [28]. De referir que durante a implementação do sistema de gestão da informação gestBarragens (§2.4) foi já desenvolvida uma estrutura que define as relações entre determinados objetos (por exemplo, as relações entre elementos e sub-elementos estruturais: barragem é composta por blocos e juntas de contração; a relação entre sub-elementos e instrumentos: grupos de extensómetros embebidos nos blocos e medidores de movimentos de junta nas juntas de contração).

Em conjunto com a integração num sistema de classificação, é necessária também a extensão destes elementos ao formato *Industry Foundation Classes* (IFC), seguindo a norma [29], à semelhança do que tem sido feito para outros tipos de infraestruturas (portos, caminhos de ferro, estradas) e para barragens de betão [30].

2.4. Sistema de gestão da informação

O Regulamento de Segurança de Barragens (RSB) [1] determina que o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) deve criar e manter atualizado um arquivo digital com os dados e resultados de observação das grandes barragens portuguesas. Para esse efeito, o LNEC desenvolveu um sistema de informação, gestBarragens [31], [32] que inclui uma base de dados estruturada, assim como diferentes módulos operacionais que permitem a gestão dos dados e resultados de observação, das inspeções visuais e da documentação técnica, a visualização de resultados gráficos e o apoio à interpretação do comportamento [32]. Este sistema de gestão de informação inclui já uma estrutura de dados que poderá servir de base para a definição do modelo BIM, sendo que a cada tipo de instrumento estão definidos diferentes atributos que podem corresponder diretamente a propriedades nos objetos BIM [31].

2.5. Modelo BIM

No seguimento do descrito anteriormente, é essencial o desenvolvimento de modelos BIM que contemplem não só a informação geométrica, através de objetos BIM paramétricos construídos segundo critérios de modelação pré-definidos, mas também a informação necessária à sua utilização prática. A integração da informação recolhida em inspeções visuais e nas campanhas de observação e a sua visualização de forma eficaz e intuitiva é também um ponto a considerar [9], [16].

Idealmente, o modelo BIM deverá partir da fase de projeto, ser adaptado durante a fase de construção e disponibilizado como modelo BIM georeferenciado *as-Built* para os vários intervenientes no controlo de segurança, integrando as diversas especialidades, incluindo o sistema de monitorização.

A pré-existência de um sistema de classificação adaptado à realidade das barragens, de regras para a modelação e criação de objetos e instruções para a utilização e exportação para formato aberto, são requisitos para o funcionamento de um sistema integrado de BIM. A Comissão Técnica de Normalização BIM Nacional (CT197) tem vindo a contribuir com recomendações para a uniformização da modelação em BIM que poderão ser adotadas no desenvolvimento de objetos BIM no contexto de barragens [33].

Como foi referido, estes requisitos constituem a base do processo colaborativo e devem ser estabelecidos *à priori*, com a participação dos diferentes intervenientes.

3. Considerações finais

Esta comunicação tem como objetivo apresentar a atividade relacionada com o controlo de segurança estrutural de barragens de betão, bem como o contexto normativo português, enumerar as condições necessárias para estabelecer uma estratégia de implementação da metodologia BIM aplicada a esta atividade e identificar os principais desafios.

É expectável que a implementação da metodologia BIM, adaptada ao RSB, traga muitas vantagens no desenrolar dos processos de controlo de segurança, nomeadamente através da definição clara das interações entre intervenientes e respetivas trocas de informação, na existência de um modelo BIM e um sistema de gestão de informação que integrem a informação necessária para os usos pré-definidos. Desde logo, a integração de informação não geométrica, incluindo resultados de observação e de inspeções, serão uma mais-valia para a interpretação do comportamento e para o apoio à decisão.

Referências

[1] RSB, "Regulamento de Segurança de Barragens". 2018.

[2] APA, "Documentos técnicos de apoio ao regulamento de segurança de barragens (RSB)". APA, Lisboa, 2018.

[3] S. A. Argyroudis *et al.*, "Digital technologies can enhance global climate resilience of critical infrastructure", *Clim. Risk Manag.*, p. 100387, Dec. 2021.

[4] R. S. Panah and M. Kioumarsi, "Application of building information modelling (BIM) in the health monitoring and maintenance process: A systematic review", *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 3, pp. 1-26, 2021.

[5] S. Jeong, R. Hou, J. P. Lynch, H. Sohn, and K. H. Law, "An information modeling framework for bridge monitoring", *Adv. Eng. Softw.*, vol. 114, pp. 11-31, Dec. 2017.

[6] R. Sacks *et al.*, "SeeBridge as next generation bridge inspection: Overview, Information Delivery Manual and Model View Definition", *Autom. Constr.*, vol. 90, no. October 2017, pp. 134-145, 2018.

[7] J. Granja, José; Silva, Patrícia; Azenha, Miguel; Lino, José Carlos; Flores, "Bim Na Pormenorização De Estruturas De Betão Armado Pré-Esforçado", *2º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, no. 1, pp. 261-270, 2018.

[8] P. H. Pereira, A. P. Assis, and M. Azenha, "Proposta de um mapa de processos para o projeto de edifícios adequado à realidade portuguesa", *2º Congr. Port. Build. Inf. Model.*, no. 1, pp. 147-156, 2018.

[9] G. Sousa, M. Azenha, J. Matos, and V. Brito, "Implementação BIM no contexto de inspeção e gestão da manutenção de obras de arte em betão armado: proposta de metodologia e aplicação piloto", *2º Congr. Port. BIM*, pp. 519-528, 2018.

[10] P. J. S. Cruz, M. Azenha, R. Mateus, T. Magalhães, J. Granja, and R. Lobão, "BIM as a tool for setting and infrastructure management", pp. 1-7, 2019.

[11] A. Marques, "Implementação de metodologias BIM na Direção de Engenharia de Barragens da EDP: Casos de estudo de projeto de estruturas em obras Hidroelétricas", Universidade do Minho, 2015.

[12] A. Marques, M. Azenha, and A. Ferreira, "BIM no projeto de estruturas de obras hidroelétricas", in *1º Congresso Português de Building Information Modelling*, 2016, pp. 163-172.

[13] L. Fernandes, "An integrated model for simulation of construction phasing of arch concrete dams", Universidade do Minho, 2015.

[14] B. Neto, "BISEL: A Specialised language for data integration on infrastructure information models", Universidade de Lisboa, 2019.

[15] S. Díaz *et al.*, "Building Information Modeling (BIM) en Ingeniería Hidráulica", in *VI Jornadas de Ingeniería del Agua*, 2019, no. 1, pp. 1-5.

[16] A. Heleno, "BIM for information management in structural safety control of embankment dams BIM for information management in structural safety control of embankment dams", Universidade do Minho, 2021.

[17] P. J. S. Cruz and M. Azenha, "The challenges of adopting BIM for setting and infrastructure management of University of Minho", *E3S Web Conf.*, vol. 48, pp. 4-7, 2018.

[18] A. Monteiro and J. Lima, "Implementação de processos BIM: desafios na aplicação da metodologia em diferentes enquadramentos da indústria da construção," in *2º Congresso Português de Building Information Modelling*, 2018, pp. 89-98.

[19] CEN, "EN ISO 19650-1:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles". CEN, Brussels, p. 34, 2018.

[20] CEN, "EN ISO 19650-2:2018 – Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 2: Delivery phase of the as". CEN, Brussels, p. 38, 2018.

[21] T. Report, R. Technique, and T. Bericht, "CEN/TR 17439:2020 - Guidance on how to implement EN ISO 19650-1 and -2 in Europe," 2005.

[22] CEN, "BS EN 17412-1:2020 - Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles". CEN, p. 28, 2020.

[23] J. C. Lino, M. Azenha, and P. Lourenço, "Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas", *Encontro Nac. Betão Estrutural -BE2012*, pp. 1-10, 2012.

[24] P. Couto, M. J. F. Silva, and F. Pinho, "Contributo para um CICS Nacional: Tabelas de Produtos, de Propriedades, de Formas de Informação, de Gestão e Direção de Projeto e de Elementos", pp. 877-887, Jan. 2021.

[25] LNEC, "Análise de conceitos , normas e sistemas de classificação da informação da construção". SECCLasS – Sustainability Enhanced Construction Classification System, Lisboa, Portugal, p. 72, 2021.

[26] "Uniclass 2015 | NBS". [Online]. Available: https://www.thenbs.com/our-tools/uniclass-2015. [Accessed: 31-Dec-2021].

[27] "Sistema de Classificação SECClasS | SECClasS". [Online]. Available: https://secclass.pt/sistemaclassificacao/. [Accessed: 31-Dec-2021].

[28] "ICOLD CIGB > Dictionary". [Online]. Available: https://www.icold-cigb.org/GB/dictionary/dictionary.asp. [Accessed: 31-Dec-2021].

[29] ISO, "ISO 16739-1:2018 – Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema". Geneva, Switzerland, p. 1474, 2018.

[30] S. Zhang and P. Jiang, "Implementation of BIM + WebGIS Based on Extended IFC and Batched 3D Tiles Data: An Application in RCC Gravity Dam for Republication of Design Change Model", *KSCE J. Civ. Eng.*, pp. 1-20, Jul. 2021.

[31] A. Silva, H. Galhardas, J. Barateiro, and H. Matos, "Data Analysis Features of the GEST BARRAGENS System", in *Second International Conference of Innovative Views of .NET Technologies*, 2006.

[32] A. T. De Castro, J. Mata, J. Barateiro, and P. Miranda, "Information Management Systems for Dam Safety Control. The Portuguese Experience", *54° Congr. Bras. do Concreto*, no. 1, pp. 1-13, 2012.

[33] CT-197, "Regras de modelação de objetos BIM", Lisboa, 2021.