

Aplicação de conceitos de gêmeo digital e BIM: Estudo de caso na gestão de pontes e viadutos

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.52>

**Guilherme Lima^{1,2}, Leonardo Factori²,
Magda Junqueira², Rodrigo dos Santos², Lucas Borba², Otávio Gonçalves²**

¹ *Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil*

² *Concremat Engenharia e Tecnologia, São Paulo, Brasil*

Resumo

Não há dúvidas sobre a importância do período de operação de um ativo de infraestrutura quando comparado ao seu ciclo de vida. Porém, apesar de tal relevância, faltam ferramentas e fluxos de trabalho que permitam gerenciar de forma segura e dinâmica a massa de informações que é gerada durante a operação de tais ativos.

Neste artigo – focado em pontes e viadutos - serão apresentados conceitos de Gêmeo Digital e como podem auxiliar às equipes de engenharia, a fim de fornecer-lhes informações para tomadas de decisões de forma ágil, segura e holística.

Somado a isso, será apresentado um fluxo de trabalho sugestivo que permita a integração de tais informações. Passando pela captura em massa de dados em campo, modelagem BIM, coleta de dados a partir de inspeções em campo, sensores e ferramentas de gestão física e financeira de ativos.

Por fim, será apresentado um caso de estudo retratando o processo e resultados da aplicação de tal fluxo em um viaduto na cidade de São Paulo – Brasil.

1. Introdução

Estima-se que no Brasil existam mais de 130.000 pontes e viadutos, que são denominadas como Obras de Arte Especial (OAE) [7]. Tais estruturas são fundamentais para os modais rodoviários e ferroviários, permitindo a continuidade geométrica do traçado desejado. Tendo em vista o grande volume de ativos existentes e sua inerente necessidade de conservação e manutenção, o estudo de caso em questão procurou utilizar conceitos de Gémeos Digitais (GD) e BIM direcionados ao segmento de gestão de ativos, a fim de fornecer às equipes de engenharia e gestão informações para tomadas de decisões de forma ágil, segura e holística. A seguir apresentada uma breve revisão bibliográfica de GD aplicados à gestão de ativos da construção civil.

1.1. Gémeos digitais

Os GD podem ser classificados em *Digital Twin - Prototype (GDP)* e *Digital Twin - Instance (GDI)* [1]. No contexto do presente estudo de caso, a definição GDI se mostra mais aderente, onde entende-se que um Gémeo digital que representa um específico produto físico a qual a representação digital permanece vinculada ao longo de toda vida útil de tal produto. Este GD pode conter as seguintes informações, não estando limitado a estas: Modelo 3D com fidelidade geométrica que represente com precisão o produto e seus componentes, relação dos materiais e componentes que compõe o produto, relação das ações e intervenções que já ocorreram no produto desde o início de seu ciclo de vida, juntamente com os resultados de quaisquer medições e ensaios já realizados, e por fim o estado operacional do produto, a ser capturado e registrado a partir do uso de sensores.

Outra definição que auxilia no entendimento sobre o conceito de GD é a que sugere que um GD pode ser definido como uma representação virtual de um ativo físico habilitado por meio de dados e simuladores para previsão em tempo real, otimização, monitoramento, controle e decisão aprimorada. [2]

A imagem abaixo ilustra o fluxo de dados entre o ativo físico e sua representação digital, podendo ser realizado de forma automatizada ou não.

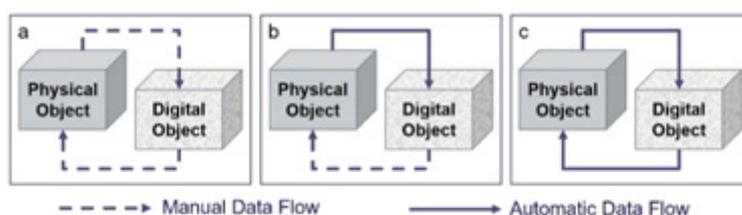


Figura 1
Fluxos de dados em um Digital Twin. Fonte:[2].

1.2. Gêmeo Digital na Gestão de Ativos na Construção Civil

A aplicação de GD na fase de Operação e Manutenção (O&M) pode contribuir de forma substancial na gestão dos ativos de construção civil [3][12][13][14], onde globalmente existem diversos estudos já publicados [4].

No contexto de gestão de ativos, os GD podem ser divididos em três frentes de aplicação. A primeira trata-se de monitoramento, que tem como foco a captura de dados do ativo físico para atualização de sua representação digital. A segunda categoria é definida como análise, que é feita a partir da combinação dos dados oriundos de campo com sua representação digital. Nesse momento são realizados os diagnósticos necessários para as tomadas de decisão. A terceira é denominada ação, que não só se concentra na coleta de dados das partes físicas para as partes virtuais, mas também busca intervir nas partes físicas usando partes virtuais, como por exemplo, o controle automático de componentes de um ativo [3].

Ao obter informações geométricas a partir de nuvens de pontos [8] e imagens [9] o GD pode ser empregado para detectar tanto falhas construtivas, quanto anomalias decorrentes da utilização e/ou falta de manutenção daquele ativo. Ao utilizar sensores e consistentes fluxos de trabalho, o GD pode ser empregado para monitorar as condições do ativo como um todo e seu componentes [11], onde a partir dessa massa de informações é possível diagnosticar as inconsistências para que as decisões sejam tomadas baseadas em dados.

No contexto de OAEs, estudos utilizando tecnologias avançadas de sensoriamento remoto, incluindo varredura a laser terrestre, vídeo e fotogrametria para captura rápida e precisa do estado de uma ponte, combinado à modelagem 3D paramétrica e processamento de dados oriundos de campo [13] serviram de referência para o estudo de caso objeto deste artigo.

2. Metodologia

A seguir será descrita a metodologia de trabalho utilizada no estudo de caso em questão, que será focado em pontes e viadutos já existentes. O fluxo de trabalho simplificado está representado na imagem abaixo:



Figura 2
Fluxo de trabalho Simplificado. Fonte: o autor.

2.1. Digitalização do ativo

O processo de gestão de pontes e viadutos passa pela necessidade de documentar as intervenções realizadas – especialmente as que impactam a geometria e seções estruturais – ao longo de sua vida útil. Tais informações são fundamentais para possibilitar tomadas de decisão baseadas em dados consistentes, promovendo ações com maior potencial de precisão e racionalidade.

Tendo em vista a rotineira ausência de projetos e documentações em OAEs existentes e a necessidade de precisão e agilidade no cadastro das geometrias, optou-se pela utilização da metodologia laser scanning. A utilização de tecnologias de levantamento de dados em massa permite aumentar o volume de pontos coletados, tornando o processo mais preciso, veloz e consistente.

A partir da nuvem de pontos que é gerada, a mesma será utilizada como referência geométrica para modelagem tridimensional. Dessa forma é otimizada a captura e disponibilização dos dados capturados campo, minimizando erros e inconsistência de dados nas etapas seguintes.

2.2. Modelagem BIM

Para potencializar a utilização das informações geométricas e paramétricas dos elementos que serão modelados, a metodologia BIM cumpre um papel essencial. A fim de garantir que as informações sejam registradas conforme necessidade da gestão de manutenção é definido o *Level of Development (LOD)* necessário para que o modelo tenha detalhes suficientes, do ponto de vista de informações gráficas e não-gráficas. A especificação de nível de LOD é uma referência que permite especificar e articular com alto nível de clareza o conteúdo e a confiabilidade dos Modelos, em vários estágios do processo de projeto e construção [6].

2.3. Ambiente de Integração de Dados

Para que seja possível realizar as conexões bi-direcionais entre o ativo físico e sua representação digital, é necessário que haja um ambiente que permita tanto o fluxo de informações quanto o armazenamento e consumo das mesmas. Tal ambiente consiste em uma plataforma, em nuvem, que permita tanto o desenvolvimento – dada a necessidade de se adaptar as necessidades operacionais inerentes à gestão do ativo – quanto a integração por meio de *Application Programming Interface (API)*.

Ou seja, é neste ambiente que é realizada de forma prática a integração do modelo BIM com dados provenientes de sensores, por exemplo

2.4. Entrada de dados

Conforme descrito anteriormente, a entrada de dados pode ocorrer de forma manual ou automática. Entende-se como entrada manual a transição de dados que

necessitam ser coletados e/ou transmitidos por meio de intervenção humana, como por exemplo, a avaliação do nível de criticidade de uma anomalia em um elemento estrutural.

A entrada automática por sua vez, consiste na transmissão de dados do ativo físico para o digital sem intermédio humano. Para esse caso utiliza-se como exemplo os sensores que estejam conectados à internet e tenham capacidade de realizar o envio automático de suas leituras para a rede.

2.5. Plataforma de Gestão de Ativos

Por fim, toda essa massa de dados é concentrada e gerida em uma plataforma que permitirá:

- Repositório das informações coletadas em campos;
- Interface tridimensional com o modelo BIM e demais informações agregadas ao longo da vida útil do ativo;
- Definição dos tratamentos adequados para cada tipo de anomalia;
- Estimativas orçamentárias, a partir do cadastro de bases públicas de insumos e parametrização de serviços associados a cada tipo de tratamento;
- Gestão do prazo das intervenções necessárias para recuperação do ativo;
- Elaboração de relatórios automatizados, tanto de enfoque técnico, quanto de gestão física-financeira.

3. Estudo de Caso

O presente estudo de caso teve como campo de aplicação OAEs na cidade de São Paulo, Brasil, onde as pontes e viadutos que foram objetos deste estudo de caso, eram estruturas já existentes. Com base na metodologia apresentada no tópico anterior, foram realizados ao longo do ano de 2021 atividades de campo e atividades de modelagem e desenvolvimento.

As atividades de campo compreendem os serviços levantamento da geometria do ativo e mapeamento das anomalias existentes. Já as atividades de modelagem e desenvolvimento referem-se ao processo de digitalização do ativo, por meio de modelagem BIM, e desenvolvimento de solução que permitisse não só a integração dos dados entre o ativo físico-digital, mas também a realização de gestão técnica, física e financeira do ativo. Tal solução foi denominada como Sistema Integrado de Gestão de Ativos (SIGA). A imagem abaixo ilustra as informações de entrada no sistema e as saídas que tem como principal objetivo promover a melhoria na gestão do ativo como um todo.



Figura 3
Entradas e saídas da solução SIGA. Fonte: o autor.

3.1. Levantamento de Geometria

A partir do uso de *laser scanner* terrestres, foi gerada uma nuvem de pontos para mapeamento da geometria do ativo. A fim de garantir a densidade da nuvem, estabeleceu-se a taxa mínima de 1000 pontos x m², buscando garantir o mapeamento de detalhes geométricos das pontes e viadutos, de forma que seja possível identificar, por exemplo, variações de seção nos elementos estruturais.



Figura 4
Nuvem de pontos de alta densidade. Fonte: o autor.

Após o trabalho de campo, foi realizado o processamento dos dados, que em diversos casos atingia a ordem de 50GB, para posterior geração da nuvem de pontos. Tal processamento foi realizado utilizando um *software* que além de processar, permite a interação com a nuvem, auxiliando na extração de medidas e na eliminação de áreas de pontos não-relevantes.

3.2. Modelagem BIM

Com o auxílio da nuvem de pontos, foram realizadas as modelagens 3D paramétricas das pontes e viadutos. Nesse processo a geometria dos elementos foi definida a partir dos dados extraídos da nuvem, permitindo que os modelos fossem geometricamente fidedignos aos ativos existentes em campo.

Cabe ressaltar a importância da inclusão de informações geométricas e não-geométricas para representar os elementos estruturais, como a função estrutural de cada elemento e as características do material que os compõe. Essa ação é fundamental para que o modelo possa atuar como uma referência consistente nas etapas seguintes.

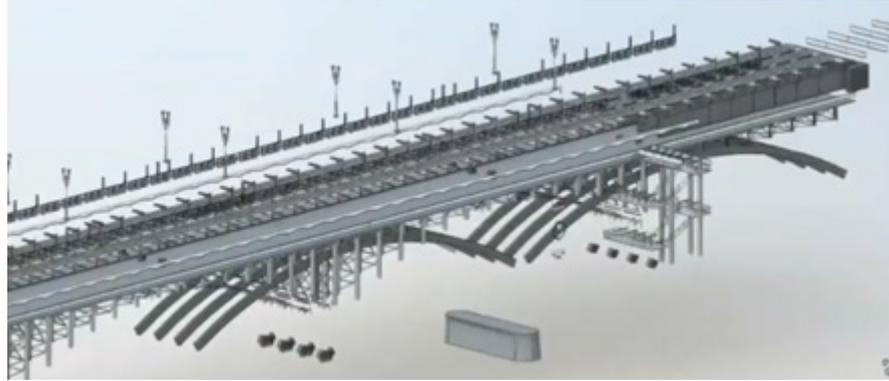


Figura 5
Elementos modelados conforme características estruturais. Fonte: o autor.

3.3. Registo de Anomalias

A partir de uma aplicação mobile que possibilita que equipes de campo tenha acesso ao modelo 3D, as anomalias são mapeadas diretamente nos elementos estruturais, registrando suas características, parecer prévio e imagens que a referenciem e ilustrem. A aplicação possibilita a utilização *offline* – característica fundamental para esse tipo de segmento.



Figura 6
Registo de anomalias no modelo. Fonte: o autor.

Após a conclusão do levantamento de anomalias pela equipe de campo, os dados atrelados são enviados por meio de sincronia à um ambiente em nuvem, concebido a partir de desenvolvimento computacional próprio e integração com APIs, viabilizando o acesso ao modelo e às informações coletadas em campo.

3.4. Integração dos Dados

A partir da integração com os dados oriundos da inspeção em campo, a plataforma web possibilita a visualização espacial de cada um dos ativos, bem como as anomalias atreladas de forma espacializada e suas respectivas características. Essa massa de dados centralizada e digitalizada, permite a aplicação combinada com softwares de Business Intelligence, gerando uma série de indicadores, gráficos e dashboards que irão permitir uma análise otimizada sobre as reais condições do ativo em questão.

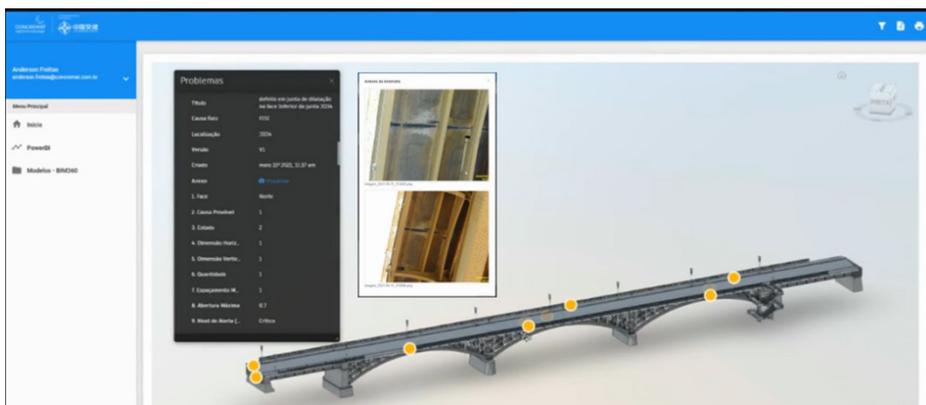


Figura 7
Integração do modelo com dados coletados em campo. Fonte: o autor.

Além disso, foi desenvolvido um módulo que realiza a geração de relatórios técnicos personalizados das anomalias registradas em campo, apresentando tanto as características da anomalia, quanto imagens e sua localização no modelo BIM.



Figura 8
Relatórios automatizados e personalizados. Fonte: o autor.

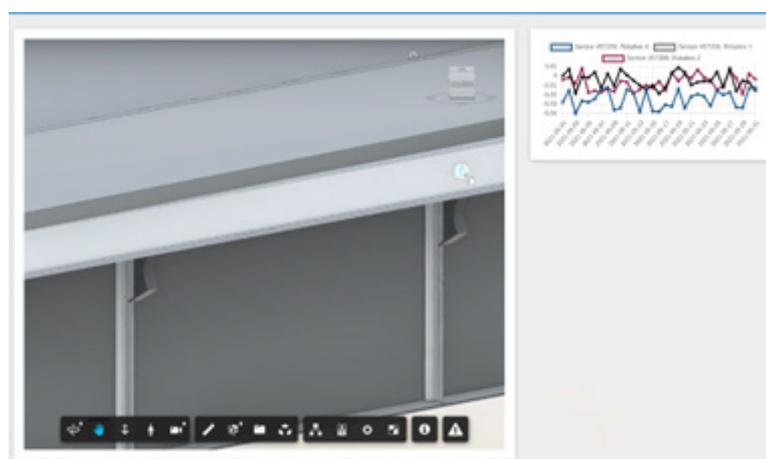
A solução prevê também o recebimento de dados oriundos de sensores. O fluxo simplificado abaixo representa o caminho que os dados coletados irão percorrer desde o campo até ao servidor em nuvem, sendo este último integrado via API com o SIGA, viabilizando o consumo das leituras de campo de forma remota.

Figura 9

Fluxo simplificado de transmissão de dados de sensores. Fonte: o autor.



A integração com sensores é fundamental para o monitoramento de ativos que estejam em situações de maior criticidade, permitindo entender com maior precisão o seu comportamento real. Os dados coletados por sensores como LVDT, Acelerômetro e *Strain Gauge* são essenciais para a avaliação global da estrutura bem como a calibração de modelos estruturais. Na imagem abaixo é possível observar um exemplo de integração modelo-sensor, onde há uma representação digital do posicionamento do sensor perante ao elemento e os respectivos dados coletados.

**Figura 10**

Integração entre modelo e dados de sensores. Fonte: o autor.

3.5. Tratamentos e Gestão da Manutenção

Para definição e atribuição dos tratamentos recomendados, a plataforma conta com um módulo que permite o cadastro prévio de tais tratamentos para que posteriormente possam ser correlacionados às anomalias. Cada tratamento possui atrelado a si os serviços necessários para recuperação, bem as composições de insumos e mão-de-obra.

Junto às composições são atribuídas as bases orçamentárias, visando a geração automatizada de orçamentos de referência, permitindo que o gestor tenha entendimento do investimento necessário para recuperação do ativo em questão.

CONCREMAT ENGENHARIA E TECNOLOGIA S/A		Data:	28/12/2021				
Ativa:	EST-Ponte Com Hungara.rvt	Mês referência:	10/2021				
Gerado por:	Leonardo Factori						
Gerado em:	04/10/2021 14:59:04						
Valor total:	R\$ 2.986,67						
Anomalia(s): #10 - Corrosão na estrutura, #9 - Infiltração, #8 - Corrosão na Viga							
Item	Código	Descrição	Unidade	Quantidade	Valor un.	Coefficiente	Valor total
1	0	T1 - PREPARAO DE CONCRETO PARA RECUPERAO					R\$ 0,00
1.1	T1	PREPARAO DE CONCRETO PARA RECUPERAO	m²	1,0000			R\$ 0,00
2	0	LIMPEZA PRVIA DOS ELEMENTOS					R\$ 6,16
2.1	T1	LIMPEZA PRVIA DOS ELEMENTOS	m²	3			R\$ 6,16
2.1.1	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Hora		R\$ 14,84	0,0890	R\$ 3,96
2.1.2	CPU7A	BOTA FORA	m²		R\$ 32,29	0,0320	R\$ 3,09
2.1.3	89028	COMPRESSOR COM MANGUEIRA DE ALTA PRESSAO PRPRIO PARA HIDROJATEAMENTO (LAVADORA PROFISSIONAL - 5,2 KW)	Hora		R\$ 24,79	0,0150	R\$ 1,11
2	T1	PREPARAO DE CONCRETO PARA RECUPERAO					R\$ 2.967,80
2.1	T1	DELIMITAO DA REA DE REPARO	m²	44,0000			R\$ 2.967,80
2.1.1	88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	Hora		R\$ 14,84	0,5500	R\$ 8,16
2.1.2	212	PEDREIRO	Hora		R\$ 18,30	1,1000	R\$ 20,13
2.1.3	215	DEMOLIO DE CONCRETO COM MARTELETE	m²		R\$ 39,16	1,0000	R\$ 39,16

Figura 11
Exemplo de relatório orçamentário automatizado. Fonte: o autor.

O módulo de gestão de prazo permite a definição tanto dos prazos estimados para execução dos tratamentos, quanto a gestão dos prazos reais, permitindo que o gestor realize o acompanhamento da evolução das correções naquele ativo. Por fim, todos os dados presentes na plataforma são reproduzidos em *dashboards* compostos de indicadores e gráficos, que tem como objetivo apresentar o status daquele ativo de forma gerencial e didática.

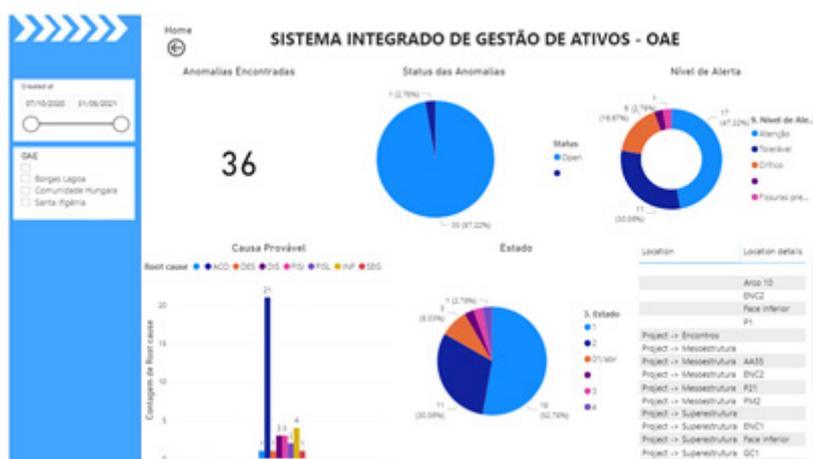


Figura 12
Dashboard com indicadores de anomalias. Fonte: o autor.

4. Conclusões

Atualmente já existem diversas pesquisas que ressaltam os potenciais de aplicação de GD na gestão de ativos da construção civil [3][4]. O presente artigo teve como objetivo apresentar de forma prática a utilização combinada de conceitos de BIM e GD na gestão de pontes e viadutos, estruturas de extrema importância para a logística de qualquer país.

Observou-se que nos casos de estruturas existentes, é de suma importância um trabalho minucioso e preciso na coleta das informações geométricas e estruturais, para que de fato se tenha uma representação digital fidedigna à realidade. Tal ação pode

ser otimizada a partir de métodos de coleta em massa, como por exemplo, *laser scanning*, que além de promover maior agilidade, garante precisões milimétricas e redução de exposição de equipes em locais de difícil acesso.

A partir da aplicação do estudo de caso, foi possível observar otimização na realização das inspeções em campo, permitindo maior precisão das informações coletadas e tratadas e redução do tempo necessário no fluxo de coleta, processamento e disponibilização dos dados. Além disso, por ser uma metodologia de trabalho que promove intensa digitalização e integração de uma série de grupos informacionais, existe a expectativa de redução entre 10% a 25% das despesas operacionais associadas a esse tipo de atividade.

Por fim, sugere-se que novas pesquisas sejam desenvolvidas no sentido de estabelecer protocolos de transmissão de dados de sensores localizados em regiões remotas, característica comum de ativos da construção civil; e meios de interoperabilidade entre dados oriundos de sensores e modelos estruturais, de forma que permita o entendimento, por exemplo, de como deformações excessivas em determinados elementos podem afetar o conjunto estrutural como um todo.

5. Referências

- [1] Infra ROI, “Brasil tem 137 mil pontes que precisam de manutenção periódica”, disponível em <http://infraroi.com.br/brasil-tem-137-mil-pontes-que-precisam-de-manutencao-periodica/>. Acesso em 28/12/2021
- [2] Rasheed A. San O., Kvamsdal T., “Digital Twin: Values, Challenges and Enablers from a Modeling Perspective”, IEEE Access, vol.8, pp 21980-22012, Jan. 2020. doi: 10.1109/ACCESS.2020.2970143
- [3] Jiang F., M. Ling, Broyd T., Chen K., “Digital twin and its implementations in the civil engineering sector”, Automation in Construction, vol 130, ref. 103838, Out. 2021. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103838>
- [4] Q. Lu, L. Chen, S. Li, M. Pitt, “Semi-automatic geometric digital twinning for existing buildings based on images and CAD drawings”, Automation in Construction, vol 115, ref. 103183, Jul. 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103183>
- [5] Q. Lu, X. Xie, A.K. Parlikad, “Digital twin-enabled anomaly detection for built asset monitoring in operation and maintenance”, Automation in Construction, vol 118, ref. 103277, Out. 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103277>
- [6] R. Lu, I. Brilakis, “Digital twinning of existing reinforced concrete bridges from labelled point clusters”, Automation in Construction, vol 105, ref. 102837, Set. 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102837>

- [7] P.E.D. Love, J. Matthews, "The how of benefits management for digital technology: From engineering to asset management", *Automation in Construction*, vol. 107, ref 102930, Nov. 2019. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102930>.
- [8] E.B. Anil, P. Tang, B. Akinci, D. Huber, "Deviation analysis method for the assessment of the quality of the as-is Building Information Models generated from point cloud data", *Automation in Construction*, vol 35, pp 507-516, nov. 2013. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.06.003>
- [9] L. Klein, N. Li, B. Becerik-Gerber, "Imaged-based verification of as-built documentation of operational buildings", *Automation in Construction*, vol. 21, pp. 161-171, Jan. 2012. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2011.05.023>
- [10] C.S. Shim, N.S. Dang, S. Lon, C.H. Jeon, "Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model", *Structure and Infrastructure Engineering*, vol 15, pp 1319-1332, out. 2019. doi: <https://doi.org/10.1080/15732479.2019.1620789>
- [11] R. Sacks, A. Kedar, A. Borrmann, L. Ma, I. Brilakis, P. Hühwohl, S. Daum, U. Kattel, R. Yosef, T. Liebich, B.E. Barutcu, S. Muhic, "SeeBridge as next generation bridge inspection: overview, Inform. Del. Manual Model View Definition", *Automation in Construction*, vol 90, pp. 134-145, Jun. 2018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.033>.
- [12] LOD Specification, "2021 Level of Development (LOD) Specification for Building Information Models," BIM Forum, 2021.