

DECLINAR



EDITORIAL

04

A Digitalização na Construção: uma questão de sobrevivência

Bento Aires

Presidente da Ordem dos Engenheiros – Região Norte

07

Medidas prioritárias para a digitalização do setor da construção

Ana Rocha et al

Built CoLAB, CONSTRUCT – FEUP; CERIS – IST; LNEC

13

A digitalização nas empresas da Indústria AEC portuguesa: Inquérito e análise de resultados

Luís Sanhudo et al

BUILT CoLAB; Teixeira Duarte S.A.; CONSTRUCT – FEUP

18

A digitalização da prevenção de riscos ocupacionais

Manuel Tender

ISEP

21

Visão por computador na inspeção e monitorização de infraestruturas

Jónatas Valença

CERIS, IST-ID, Universidade de Lisboa

26

O estudo da estabilidade de taludes rochosos: a adopção de novas tecnologias e o recurso a ferramentas informáticas

José Filinto Trigo et al

NEC; LABCARGA; GeoBioTec; CEGOT; FLUP; ISEP; SkyCam Aero Footage

31

A experiência do ISEP em projetos de investigação e desenvolvimento no domínio da digitalização em engenharia civil

Diogo Ribeiro e Ricardo Santos

ISEP

36

Digitalização do processo de medições e orçamentos

Paula Assis e Ricardo Figueira | Top Informática, Lda.

39

Otimização e automatização de processos na indústria da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC)

João Teixeira | DiRoots

41

Uso da tecnologia a laser

Javier Puig e Albert Cabrejo | GroundProbe

EDITORIAL

A digitalização no setor da construção ou numa perspetiva mais abrangente no setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), está cada vez mais próxima de ser uma realidade em Portugal e, por isso, decidimos nesta edição elegê-la como tema de capa.

O momento da mudança num setor tão tradicional “como o nosso” parece nunca ser o adequado, pois ou estamos perante uma crise no setor e não há disponibilidade financeira e emocional para a tomada de decisão para a sua implementação, ou quando se verifica um boom no setor não há muito tempo a despende porque o mercado apela a rápidas respostas e andamos todos muito ocupados.

No entanto, nos últimos anos, temos assistido a uma gradual mudança, eventualmente lenta, e um pouco enviesada do paradigma do setor em Portugal. Lenta porque não temos acompanhado o ritmo de outras indústrias e enviesada porque nem todos os agentes alinham na implementação de procedimentos ágeis e otimizados, baseados em metodologias, técnicas e ferramentas que nos aproximam da designada Construção 4.0. Esta Construção, que deriva da Indústria 4.0,

identifica como alvos prioritários a digitalização dos processos, a integração de tecnologias digitais e equipamentos que permitam a otimização da construção, o aumento dos indicadores de produtividade, a redução de desperdícios (Lean Construction ou construção enxuta), alcançando um rápido acesso à informação, à diminuição dos erros e falhas, à redução dos custos de execução e ao aumento da produtividade.

Para além de todo o incremento tecnológico, não podemos deixar para trás a formação das pessoas, principais intervenientes nesta mudança. O conhecimento e a mudança de mentalidades permitirão uma melhor e rápida implementação da digitalização da construção.

Os programas dos cursos de formação média e superior têm de continuar a apresentar as “novidades tecnológicas” associadas ao setor AECO como a metodologia BIM, a Impressão 3D, a Realidade Virtual e Aumentada, o Big Data, a Cloud, a Internet of Things (IoT) ou a Robótica, que, associada ao “bom e tradicional” ensino em Portugal, permita melhores desempenhos na conceção de estudos e projetos, na gestão e execução de obras e na manutenção e



operação dos empreendimentos.

Com esta mudança que está a ser operada no setor e na formação iremos, por certo, contribuir para os sucessos da atividade profissional dos nossos jovens engenheiros e para a afirmação da engenharia civil portuguesa em Portugal e no mundo.

Uma palavra final aos autores e às organizações parceiras que contribuirão de um modo mais direto para esta edição da DECivil. A todos agradecemos o contacto estabelecido. Conseguimos reunir um conjunto de contributos, necessariamente curto, para a divulgação do que tem sido feito e reveladores do que poderão vir a ser as tendências de futuros desenvolvimentos. Sabemos que para além destes, muitos outros, não aqui destacados, irão, por certo, contribuir para o avanço e para o sucesso da implementação da digitalização do setor AECO. A engenharia portuguesa conta com todos!

Bem-haja a todos. ■

José Pinto-Faria
Diretor do DEC-ISEP

"Com esta mudança (...) iremos, por certo, contribuir para (...) a afirmação da engenharia civil portuguesa em Portugal e no mundo."

CYPE

SOFTWARE PARA
ARQUITETURA,
ENGENHARIA E
CONSTRUÇÃO

CYPE v.2022



 **BIMserver.center**
It's what you do

Desenvolva os seus projetos de forma colaborativa num fluxo de trabalho Open BIM.

 **BIMserver.center**
Education
Teaching digital transformation

Desenhado especificamente para a atividade docente.




www.topinformatica.pt



SIGA-NOS:



 253 209 430

 geral@topinformatica.pt

 Braga / Lisboa

A Digitalização na Construção: uma questão de sobrevivência



Bento Aires

Presidente da Ordem dos Engenheiros – Região Norte

Esta indústria da construção continua, volvidas mais de duas décadas da viragem do milénio, um dos maiores aliados da economia do país e da própria União Europeia, e dificilmente se perspetiva uma alteração de posicionamento.

Interessa antes de avançar, lembrar dados da Comissão Europeia que apontam que o setor da construção gera 18 milhões de empregos diretos e contribui para cerca de 9% do PIB da União Europeia.

Por sua vez, em Portugal, o investimento em construção em 2021, representou 9,6% do PIB nacional, sem considerar atividades económicas relacionadas/dependentes e a Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas (AICCOPN) estima que haja cerca de 400 mil trabalhadores no setor, apontando que mesmo assim faltam quase 80 mil para dar a resposta necessária.

Neste contexto, e apesar dos grandes avanços já alcançados, a digitalização do setor da construção encontra-se ainda numa linha evolutiva inferior ao que seria expectável, quando comparada com outras indústrias.

Um setor que ainda emprega métodos de construção tradicionais e mão-de-obra não qualificada, tem o desafio urgente de acelerar a sua transformação digital sob pena de, se não o fizer, ficar espalhada nos receios encabeçados pela visão mais

tradicionalista da construção e não consiga fazer face aos desafios atuais (falta de mão de obra, preço e disponibilidade de materiais, entre outros).

Segundo o relatório “Digitalisation in the construction sector” da European Construction Sector Observatory, o custo do equipamento e software, a falta de mão-de-obra qualificada e a falta de conscientização e compreensão das tecnologias digitais são os três principais fatores que dificultam a digitalização mais rápida e ampla do setor de construção europeu (ver Figura 1).

É ainda importante salientar o facto de que, segundo o mesmo relatório, 100% dos stakeholders da construção, em 17 países (dos 23 de onde são provenientes as respostas) concordam com a necessidade de uma intervenção política da União

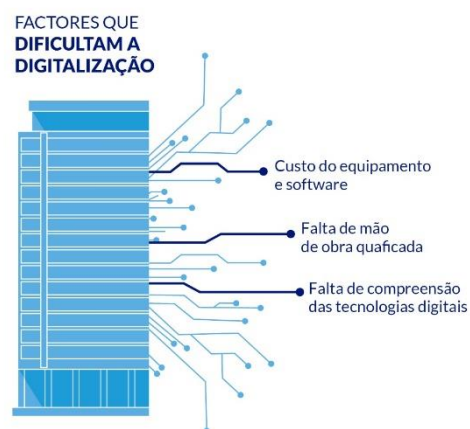


Figura 1 – Fatores que dificultam a digitalização.



Figura 2 – Mudanças necessárias para a transformação digital.

Europeia no apoio à digitalização do setor da construção. Essa intervenção política deve ser complementar a UE e/ou complementar as políticas e programas nacionais.

Convém ainda deixar claro que a transformação digital implica fundamentalmente dois tipos de mudança (ver Figura 2): a inovação do modelo de negócios, em que as empresas introduzem novos produtos e serviços habilitados digitalmente; a melhoria operacional, com a qual as empresas aplicam tecnologias avançadas e formas de trabalhar para aprimorar o desenvolvimento e a entrega de projetos.

"A transformação digital na construção, assim como em outras indústrias, implica uma renovação de comportamento e mentalidade deixando cair alguns paradigmas obsoletos e abrir-se à revolução da Indústria 4.0 (...)"

Ora aqui chegados, é importante notar que, no que diz respeito à implementação da tecnologia, e segundo os dados do relatório "Country profile Portugal" do mesmo observatório, Portugal ainda não atingiu o nível de maturidade de outros países desenvolvidos o que se traduz numa ameaça para o setor.

Há alguns fatores que explicam este atraso, mas ressalta-se a lei da contratação pública existente que favorece um processo de contratação baseado na fragmentação das diferentes etapas, negando uma abordagem cooperativa necessária para o uso de ferramentas de digitalização e cooperação nos processos. Não oferece incentivos para a implementação de soluções alternativas, impedindo que as empresas invistam em inovação. Há, portanto, ainda uma visão obsoleta de alguns players em relação a formas alternativas de construção que, recomendavelmente, têm de ser alteradas.

Embora a Engenharia seja um forte aliado para o desenvolvimento de novas tecnologias (realidade virtual, cibersegurança, robótica, realidade aumentada, Internet das coisas, entre outras) para criar o verdadeiro caminho até à transformação digital, é a mudança de mentalidade a principal etapa para fazer acontecer esta transição.

Mudança de mentalidade

A verdade factual é que todos os gestores, Engenheiros de demais players da indústria da Construção têm de estar perfeitamente cientes de que a transformação digital não é apenas a adoção de alta tecnologia.

A transformação digital na construção, assim como em outras indústrias, implica uma renovação de comportamento e mentalidade deixando cair alguns paradigmas obsoletos e abrir-se à revolução da Indústria 4.0 onde se destacam os procedimentos mais eficientes, autónomos e com high performance,



Figura 3 – Os agentes da mudança.

conciliando com uma abordagem integrada dos recursos humanos e dos vários stakeholders. E neste contexto é preciso uma alteração de mentalidade, disponível para rever conceitos, adaptar-se aos novos desafios, repensar o que “sempre foi feito”, ser ágil, flexível e aberto para a lógica digital e à prova do futuro.

Agentes de mudança

A mudança implica o apoio inabalável dos decisores. Não há caminho que possa ser percorrido sem que os líderes das organizações estejam totalmente comprometidos com a transição que se quer alcançar. Porque, como atrás foi referido, não se trata apenas de incluir tecnologia na indústria, trata-se de ter claro que o conhecimento da aplicabilidade e a sua mais-valia é transversal a toda a organização, no sentido de obter o maior rendimento e valor da mesma. Assim espera-se que os agentes da mudança compreendam que há uma tríade que deve ser tida em conta neste contexto de transição digital (ver Figura 3): a componente tecnológica, a cultura da empresa e as pessoas.

Conectando os pontos: Transformação Digital e Mudança de Mentalidade

Como referido, há uma tendência para considerar que a transformação digital é, tão somente, adicionar sistemas tecnológicos aos processos antes analógicos,

“A mudança implica o apoio inabalável dos decisores. Não há caminho que possa ser percorrido sem que os líderes das organizações estejam totalmente comprometidos com a transição que se quer alcançar.”

que são muito menos eficientes e que o resto virá por acréscimo.

Mas, é importante ter a certeza que o processo cria valor após a aplicação da tecnologia, e que todas as partes envolvidas já têm conhecimento total e completo do seu papel na cadeia: planear a transição e consolidar a maturidade digital.

O futuro da construção está indubitavelmente alavancado na inovação que as novas (já, eventualmente, não tão novas assim) ferramentas digitais trazem para esta indústria.

E num mundo em constante mutação, em que a tecnologia avança tão rápido, muitas vezes não há tempo para a “habituação”. Habituação que pode ser um fator crítico de sucesso de qualquer estratégia de transformação digital do setor. O setor da construção necessita de abordagens “deep dive” constantes para garantir a sua perfeita implementação. Só assim, conseguiremos atrair novos perfis de colaboradores, modernizar os existentes, reduzir o esforço na execução, atenuando o esforço físico. Em suma, fazer pessoas felizes com Engenharia.

Por último, a adaptação e a tenacidade, como em muitos outros casos na vida, é a lei da sobrevivência. Na construção também, no dia em que deixarmos de falar de digitalização da construção, será o dia em que a alcançamos. ■

Medidas prioritárias para a digitalização do setor da construção

Ana Rocha

Digital Transition Specialist | BUILT CoLAB

Luís Jacques de Sousa

Estudante PhD | CONSTRUCT – FEUP

Vander Escoval

Investigador | LNEC

António Aguiar da Costa

Professor Associado | CERIS – IST

João Poças Martins

Professor Auxiliar | CONSTRUCT – FEUP

António Cabaço

Investigador Auxiliar | LNEC

Ana Brandão de Vasconcelos

Investigadora Auxiliar | LNEC

Introdução

O setor da Construção tem um papel importante nas economias nacionais, sendo que na Europa este setor representa cerca de 9 % do Produto Interno Bruto (PIB), empregando cerca de 18 milhões de cidadãos. Para além do valor económico, o setor apresenta um grande impacto social, ambiental e climático devido às grandes emissões de CO₂ [1]. No caso particular de Portugal, segundo relatório de junho de 2021 da AICCOPN, a construção representa cerca de 4% do PIB e envolve mais de 300 mil trabalhadores. Apesar da influência do setor da construção na economia quer através da nova construção, quer através de reabilitação ou gestão de edifícios, a indústria da construção é caracterizada por apresentar uma baixa produtividade, uma significativa vulnerabilidade e frequentes desvios nos custos e nos prazos [2]. Apesar da integração das tecnologias digitais ser fundamental para enfrentar os desafios da construção relacionados com a escassez de mão-de-obra, eficiência na utilização de recursos e energia, competitividade e produtividade, entre outros, o setor da construção continua a ser um dos menos digitalizados. A digitalização do setor vai muito além do uso do BIM, obrigando a uma desmaterialização e otimização dos processos tradicionais atuais, exigindo

que o setor se prepare devidamente a nível dos recursos humanos e dos meios tecnológicos a integrar e implementar. Os desafios inerentes são diversos, passando pela estruturação dos sistemas de classificação, levantamento e mapeamento de processos, integração da cadeia de abastecimento, criação de bibliotecas de objetos e suas propriedades, apoio à implementação de metodologias, integração de sistemas de gestão de ativos, integração com sistemas de monitorização e sensorização, virtualização e simulação de cenários, entre outros. Apesar de em algumas das grandes empresas nacionais de construção já estarem a melhorar os processos de trabalho com a introdução de novas técnicas no modelo de construção, existem desafios significativos sobretudo nas pequenas e médias empresas, onde a digitalização ocorre de forma mais lenta. Neste contexto, surgem diversas iniciativas integradoras, transversais e estruturais que centram o seu esforço na mobilização do setor para a era digital. Uma das iniciativas previstas no Projeto Mobilizador “Digital Construction Revolution – REV@CONSTRUCTION” dedica-se ao desenvolvimento de um plano de apoio às pequenas e médias empresas na sua digitalização.

O plano em desenvolvimento realça o papel do setor público, como principal dinamizador e catalisador da mudança, e também a contribuição fundamental da normalização e legislação adequada aos novos desafios. O plano prevê a identificação e definição de medidas estratégicas a adotar para que sejam desenvolvidos protocolos de trabalho e de inovação comuns, que estabeleçam boas práticas.

O presente documento destaca o esforço coordenado da indústria na definição das medidas estratégicas a adotar, apresentando como decorreu o envolvimento dos agentes do setor na iniciativa com a realização de workshops, apresentações, questionários onde se debateu as soluções e ações face às necessidades e desafios emergentes no setor. No capítulo 2 é descrita a metodologia adotada para a recolha e priorização das medidas estratégicas a adotar para a digitalização do setor AEC, sendo o capítulo 3 dedicado à apresentação e análise dos resultados. As conclusões e trabalhos futuros são apresentados no capítulo 4.

Metodologia

A definição e priorização de medidas estratégicas para a digitalização do setor da Construção envolveu duas etapas distintas, tendo em consideração os desafios emergentes no setor. Esta iniciativa, promovida pelo BUILT CoLAB, FEUP, IST e LNEC, contou com a participação de mais 20 entidades representativas dos diversos quadrantes do setor.

Identificação de Medidas

A primeira etapa teve como principal objetivo identificar medidas concretas que respondessem às necessidades do setor e promovessem a sua digitalização. Para tal, foi promovido um workshop em formato webinar que incluiu a participação dos especialistas das diversas entidades. O workshop dividiu-se em duas grandes sessões: sessão expositiva (30 min) e sessão de debate (1h30min).

Na sessão expositiva enquadrou-se o tema da digitalização do setor AEC, com: i) uma apresentação breve de um modelo para a transição digital estruturado pelas entidades promotoras; ii) uma explicação sucinta da adoção da metodologia BIM no setor, identificando casos de sucesso internacionais; e iii) uma reflexão sobre a integração do BIM nos documentos normativos e legislativos nacionais.

A sessão de debate dedicou-se à definição de medidas estratégicas para a digitalização. Para a identificação de medidas o grupo de especialistas inicial foi dividido em três grupos de trabalho para que o debate gerasse mais ideias. Foram constituídos os seguintes grupos:

a) Grupo do Tecido Empresarial, constituído essencialmente por especialistas de construtoras e gabinetes de projeto, contando também com a participação da AECOPS (Associação de Empresas de Construção e Obras Públicas e Serviços e APPC (Associação Portuguesa de Projetistas e Consultores); b) Grupo de Competências, formado pela Universidade do Minho, Instituto Politécnico de Leiria, Instituto Superior Técnico de Lisboa, Ordem dos Arquitetos e Ordem dos Engenheiros; e c) Grupo de Contratação e Gestão, do qual fizeram parte entidades contratantes, nomeadamente a EPAL, a Infraestruturas de Portugal, a Lisboa SRU e a Gaiaurb, bem como duas comissões técnicas de normalização, uma relativa ao BIM (CT 197) e outra à gestão de ativos (CT 204). O grupo do tecido empresarial contou com a moderação do BUILT CoLAB, o grupo de Competências foi moderado pela FEUP e o grupo de Contratação e Gestão teve a moderação do LNEC. Desta forma, cada grupo de trabalho, durante cerca de 45 minutos, trocou ideias e divulgou opiniões que se materializam em medidas estratégicas concretas a adotar para a digitalização do setor. Para o registo em tempo real das medidas recorreu-se à plataforma de colaboração virtual. A definição das medidas baseou-se nos fatores de mudança e vetores de maturidade estabelecidos no

modelo para a transição digital previamente estruturado e apresentado pelas entidades promotoras, o qual reuniu o consenso dos especialistas.

Após esta fase, deu-se lugar a uma discussão geral, em que os moderadores de cada grupo apresentaram de forma resumida as principais preocupações e necessidades abordadas e as medidas definidas. As medidas identificadas no workshop foram analisadas e compatibilizadas pelas entidades promotoras de modo a não terem informação duplicada nem ambígua.

Priorização de Medidas

Nesta etapa procedeu-se à priorização das medidas definidas de acordo com a aplicação da metodologia descrita no subcapítulo 2.1. Para esse processo recorreu-se ao método RICE (Reach, Impact, Confidence and Effort) que tem uma estrutura de priorização baseada em quatro critérios: Alcance, Impacto, Confiança e Esforço. Após a definição da pontuação em cada um dos critérios, a pontuação RICE ou final, é obtida pela multiplicação dos critérios alcance, impacto e confiança dividida pelo nível de esforço considerado. De acordo com este método, as medidas com um maior impacto e que exigem um menor esforço para planear, executar e implementar são mais valorizadas em relação a medidas com o mesmo impacto, mas em que o esforço exigido seja considerado maior.

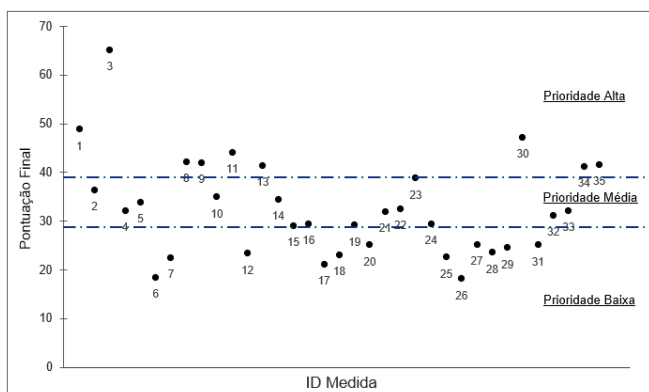


Figura 1 – Pontuação final da aplicação do método RICE para as 35 medidas estratégicas em análise.

Para tal, foi aplicado um questionário aos especialistas, no qual se solicitava a classificação do Impacto, da Confiança e do Esforço de cada medida. Para o critério Alcance, considerou-se a mesma pontuação para todas as medidas, uma vez que se pretende que todas estas medidas tenham efeito impulsionador em todo o setor AEC.

Resultados e Análise

Etapa 1 – Workshop

O workshop desenvolvido possibilitou o trabalho colaborativo de diferentes agentes do setor na definição de medidas que promovam a sua transição digital. Desse processo colaborativo resultaram 66 medidas/indicações, que foram posteriormente

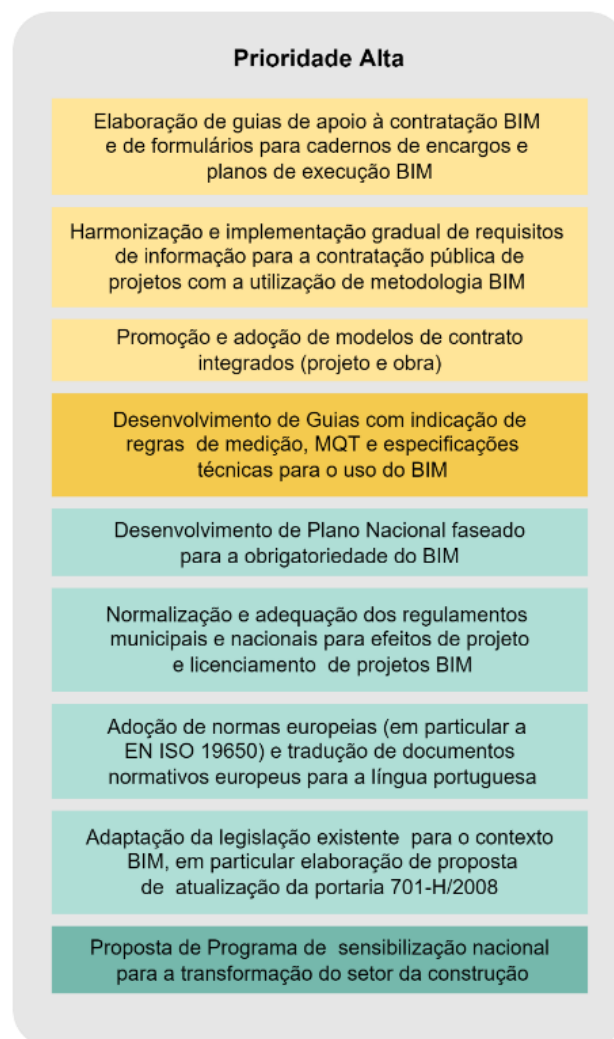


Figura 2 – Medidas de prioridade alta.

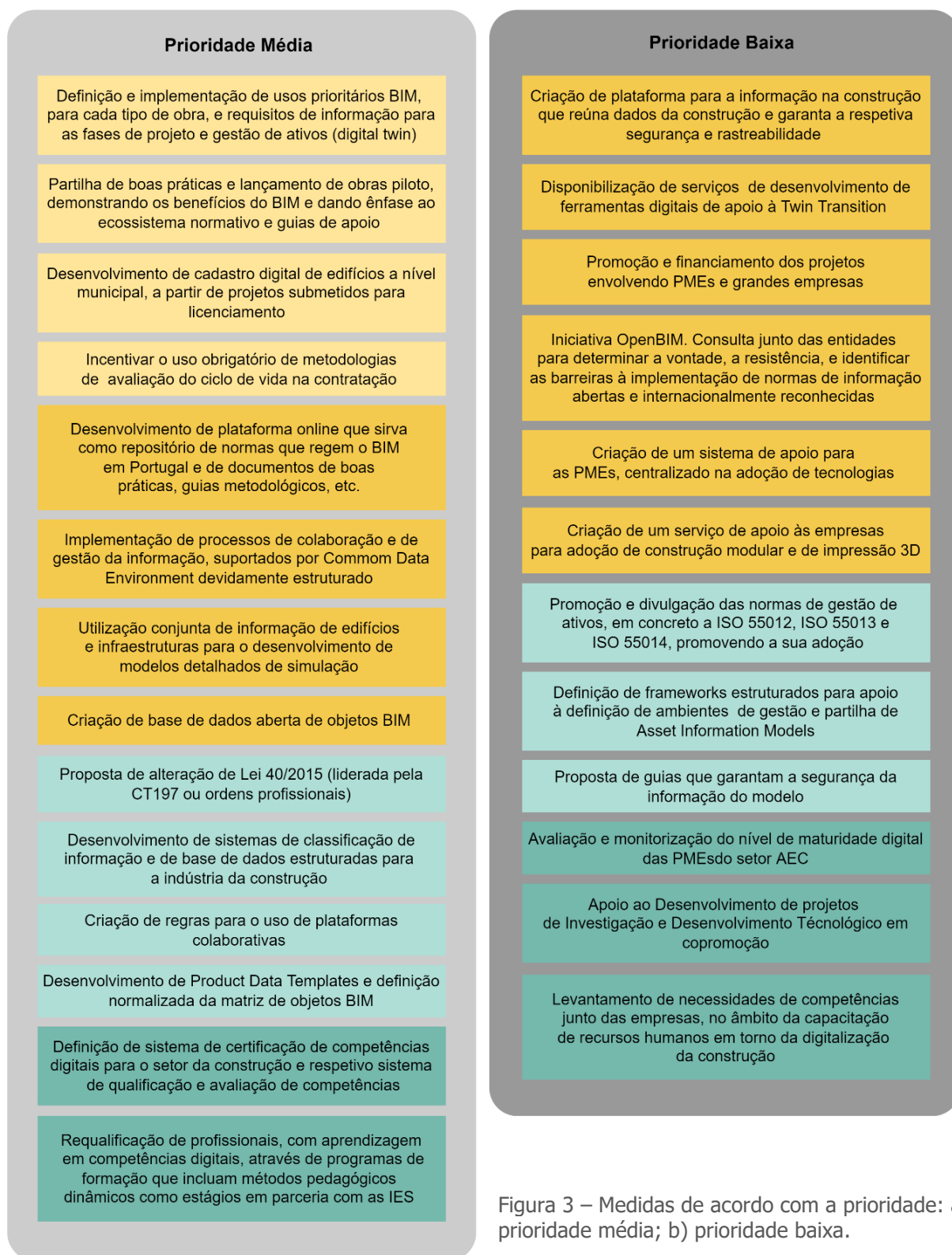


Figura 3 – Medidas de acordo com a prioridade: a) prioridade média; b) prioridade baixa.

analisadas e compatibilizadas, dando origem a 35 medidas estratégicas, das quais 7 são relativas à Entidade Contratante, 11 relacionadas com o Tecido Empresarial, 11 referentes a Legislação e

Normalização e 6 referentes às Competências e Capacitação.

Etapa 2 – Método RICE

O grupo de especialistas estimou qual é, na sua opinião, o impacto, a confiança e o esforço de cada

uma das 35 medidas definidas. A Figura 1 apresenta a pontuação final das medidas de acordo com a aplicação do método RICE. A pontuação mais elevada apurada foi de 65,23 para o “Desenvolvimento de um plano nacional de obrigatoriedade BIM”, enquanto a mais baixa atingida foi de 18,17 para a “Criação de um serviço de apoio às empresas para adoção de construção modular e de impressão 3D”. Com base no ranking final que pretende refletir as necessidades mais emergentes para o setor, estabeleceram-se três níveis de prioridade: alta, média e baixa. Às medidas que tiveram uma pontuação final superior a 39 atribuiu-se prioridade alta, às medidas com pontuação final superior a 29 e inferior a 39 foi conferida prioridade média, e às restantes medidas, com pontuação inferior a 29 pontos atribuiu-se prioridade baixa. As Figura 2 e Figura 3 apresentam as medidas de acordo com a priorização estabelecida com base na opinião do grupo de especialistas envolvido. Verificou-se que as medidas mais pontuadas se referem sobretudo à adoção da metodologia BIM, como foco no desenvolvimento de guias e normas que orientem e regularizem o seu uso no setor AEC.

Conclusões e Trabalhos Futuros

A transição digital é essencial para a evolução do setor AEC, bem como para o aumento da sua produtividade e competitividade nos mercados nacionais e internacionais. As metodologias apresentadas foram adotadas com o objetivo de envolver os diversos agentes do setor no processo de definição de medidas e de desenvolvimento de um modelo para a transição digital.

As medidas identificadas pretendem promover e apoiar a digitalização de todo o setor, tendo como principal foco as pequenas e médias empresas que se caracterizam na sua generalidade por uma menor capacidade de digitalização comparativamente com as grandes empresas. Assim, com base na evolução dos

quatro Fatores de Mudança ao longo dos três Vetores de Maturidade, identificaram-se 35 medidas concretas a implementar para que o setor se digitalize e beneficie dos avanços tecnológicos que têm ocorrido nos últimos anos. As medidas foram priorizadas em três níveis de acordo com o seu impacto, esforço e a confiança.

Tendo em consideração os resultados alcançados, o grupo de trabalho irá concentrar os seus trabalhos futuros no desenvolvimento de uma proposta de apoio à obrigatoriedade do BIM em Portugal, e na elaboração de propostas de atualização de documentos legislativos e normativos que orientem e regularizem o uso do BIM no setor.

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo: Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (PO Lisboa) [Projeto n.º 046123; Referência de Financiamento: POCI-01-0247-FEDER-046123 e LISBOA-01-0247-FEDER-046123]; Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014]; Financiamento Base – UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). ■

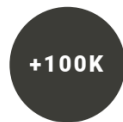
Referências

[1] European Construction Sector Observatory, “Digitalisation in the Construction Sector,” Eur. Constr. Sect. Obs., no. April, pp. 1–159, 2021, [Online]. Available:

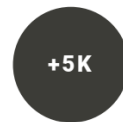
<https://ec.europa.eu/docsroom/documents/45547/attachments/1/translations/en/renditions/native>.

[2] McKinsey Global Institute, "Reinventing Construction: A Route to Higher Productivity," no. February, p. 168, 2017, [Online]. Available:

<https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/business-functions/operations/our-insights/reinventing-construction-through-a-productivity-revolution/mgi-reinventing-construction-executive-summary.pdf>.



Users



Companies



Revit Plugins

Leading Custom Software Developer

for the AEC and Manufacturers.

Our Services.



Software Development



BIM Consultancy



BIM Content Creation

+351 253 725 363

info@diroots.com

diroots.com

PT R. Dr. Eduardo de Almeida 628,
4810-264, Guimarães, Portugal

UK Thomas House, 84 Eccleston Square,
SW1V 1PX, London, United Kingdom



A digitalização nas empresas da Indústria AEC portuguesa: Inquérito e análise de resultados

Luís Sanhudo

Head of BIM Intelligence | BUILT CoLAB
luis.sanhudo@builtcolab.pt

Ana Rocha

Digital Transition Specialist | BUILT CoLAB

Tomás Correia

Diretor de Obra Adjunto | Teixeira Duarte S.A.

João Poças Martins

Professor Auxiliar | CONSTRUCT – FEUP

Alfredo Soeiro

Professor Associado | CONSTRUCT – FEUP

Introdução

No contexto da indústria da Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), o termo digitalização é frequentemente utilizado para descrever a tendência em adotar novas tecnologias de informação e comunicação para criar uma cadeia de valor digital [1]. Esta tendência tem, em anos recentes, apresentado um papel central na evolução da indústria AEC, com múltiplos intervenientes do setor a explorar esta transformação pelos seus já reportados e comprovados benefícios [2]. Estes esforços têm encontrado sucesso em adaptar e adotar várias inovações tecnológicas de outros setores, potenciando assim, de forma significativa, o aumento da produtividade e a diminuição dos custos ao longo do processo construtivo [3]. Contudo, existem ainda múltiplas barreiras que impedem a completa adoção dos processos e das ferramentas tecnológicas disponíveis às empresas do setor [4].

Com o objetivo de transparecer o estado atual da digitalização no panorama nacional e averiguar as referidas barreiras, o presente artigo expõe e analisa os resultados de um inquérito realizado à indústria AEC portuguesa, focado na digitalização das empresas. Esta digitalização foi avaliada ao nível de diferentes dimensões, nomeadamente: (1) Estratégia; (2)

Recursos Humanos; (3) Processos; (4) Clientes e Parceiros; e (5) Tecnologia. Além da atual secção introdutória, a Secção 2 descreve a metodologia utilizada no desenvolvimento deste artigo; a Secção 3 apresenta e examina os resultados do inquérito, por dimensão avaliada; e, por fim, a Secção 4 expõe as principais conclusões obtidas.

Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido no âmbito da dissertação de mestrado [5] “Análise da Implementação da Digitalização nas Empresas de Construção”. O trabalho iniciou-se pela análise do estado da arte focado na digitalização da indústria AEC, tanto a nível nacional como internacional. Posteriormente, desenvolveu-se um questionário adaptado à realidade portuguesa para caracterizar a digitalização das empresas nacionais. A estrutura, viés e ambiguidade do questionário foi avaliada por nove intervenientes da academia e da indústria, permitindo, através da integração das modificações propostas, a melhoria da sua qualidade. Validado o questionário, este foi distribuído por cerca de 600 empresas de várias áreas e especialidades da indústria durante maio de 2022, sendo registadas respostas recebidas até final de junho do mesmo ano. Finalmente, as

Tipo de Atividade	Amostra
Gabinete de Projeto	27%
Empreiteiro Geral	24%
Fiscalização	11%
Fabricantes e Fornecedores	8%
Promotor/Dono de Obra	6%
Subempreiteiro	6%
Consultoria	6%
Gabinete de Arquitetura	5%
Formação/Investigação	4%
Desenvolvimento de Software	2%

Tabela 1 – Tipo de atividade.

respostas foram validadas procedendo-se depois à sua análise e ao registo das principais observações e conclusões.

Em termos de estrutura, o questionário contou com 19 perguntas no total: seis para a caracterização da empresa e 13 para caracterização da sua digitalização ao nível das dimensões referidas na secção de introdução. Utilizando estas questões, a Secção 3.1 apresenta uma caracterização das empresas que participaram no estudo, enquanto as Secções 3.2 a 3.6 analisam as respostas relacionadas com as várias dimensões da digitalização.

Resultados e Discussão

Caracterização da Amostra

O inquérito obteve uma taxa de colaboração de 14,8%, o que corresponde a um total de 89 respostas. O mesmo foi disseminado por empresas de todo o território português, incluindo regiões autónomas. Verificou-se que 60% das empresas da amostra apresenta sede na região Norte, enquanto 21% apresenta sede na região centro e 19% na região sul. Dado o amplo leque de especialidades na indústria, foi essencial caracterizar a amostra quanto ao tipo de atividade exercida, como visível na Tabela 1. De salientar que sensivelmente 24% da amostra é multidisciplinar, tendo o seu modelo de negócio assente em mais do que uma atividade.

A Figura 1 caracteriza a amostra quanto aos anos de atividade e ao número de colaboradores da empresa. Verifica-se que a maioria das empresas (34%) tem entre 15 e 30 anos e que o número de empresas com mais de 50 anos de atividade é relativamente reduzido. A amostra é sobretudo constituída por empresas que têm até 10 colaboradores (35%) e entre 10 e 50 colaboradores (34%).

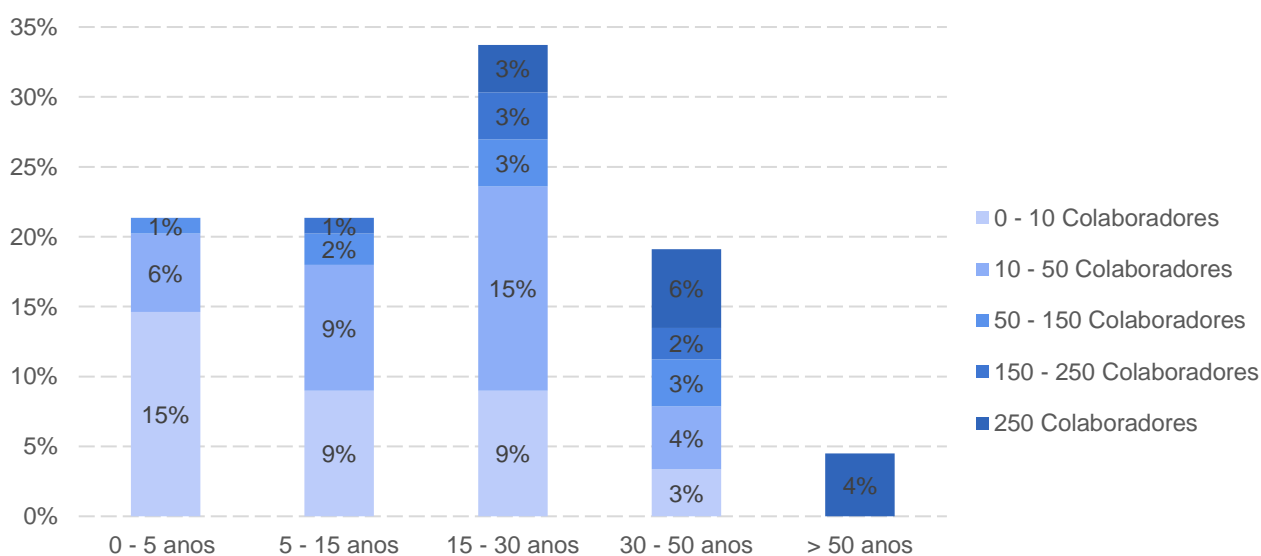


Figura 1 – Anos de atividade e número de colaboradores.

Estratégia

A avaliação desta dimensão tem como objetivo compreender a relevância que as empresas atribuem à digitalização na sua estratégia de negócio. Neste sentido, os resultados indicam que 85% das empresas defendem já dar importância à digitalização e que 78% atribuem-lhe um papel central na estratégia futura da empresa.

Relativamente ao principal interveniente no impulsionamento da digitalização, 70% da amostra concorda que o mesmo é da responsabilidade da administração, enquanto 55% considera relevante o papel dos colaboradores.

Focando o investimento tecnológico, 85% das empresas garantem investir em tecnologias; no entanto 55% defendem que são necessárias novas contratações para o investimento ser viabilizado.

A Tabela 2 apresenta a opinião das empresas relativamente aos impactos do investimento tecnológico.

Recursos Humanos

Dado o papel fundamental das pessoas na transição digital das empresas, esta dimensão pretende avaliar o impacto da digitalização nos recursos humanos. Neste sentido, as respostas recolhidas indicam que as empresas têm em consideração a relevância dos seus funcionários, com apenas 15% da amostra a afirmar que os seus colaboradores não têm qualquer papel a desempenhar na digitalização.

	Concorda	Discorda
Facilita a comunicação interna	90%	3%
Possibilita um maior controlo na gestão de obra	84%	2%
Melhora o processo de avaliação de desempenho e qualidade	82%	1%
Apoia o <i>back office</i>	78%	4%
Aumenta a produtividade no fabrico	70%	2%
Aumenta a produtividade na montagem/construção	66%	4%

Tabela 2 – Impactos do investimento tecnológico.

No que respeita as competências dos recursos, 86% afirmam ter colaboradores com competências para utilização de novos processos e ferramentas tecnológicas, ainda que 51% admita a necessidade de contratar novos recursos para a sua devida implementação.

Com a digitalização verificou-se ainda uma maior flexibilidade nas condições de trabalho, com 60% das empresas a afirmar já terem implementado horários flexíveis e 45% a afirmar permitirem regime de trabalho remoto.

A Tabela 3 apresenta a percentagem das empresas que disponibiliza (1) processos e (2) ferramentas tecnológicas para exercício das atividades dos seus colaboradores; bem como a percentagem que promove ações de capacitação associadas a esses mesmos processos e ferramentas.

Processos

A integração de novas tecnologias nas empresas permite desmaterializar e otimizar os processos tradicionais, ainda comumente utilizados na indústria da construção. Através dos dados obtidos, verifica-se que a maioria das empresas (86%) admite que

	Disponibilização	Ações de capacitação
Processos	83%	66%
Ferramentas	78%	75%

Tabela 3 – Disponibilização e formação em processos e ferramentas tecnológicas.

	Concordância	Discordância
Ocorre maioritariamente em papel	37%	52%
Ocorre maioritariamente em formato digital	76%	5%
Ocorre com recurso a uma plataforma digital destinada ao efeito	66%	12%

Tabela 4 – Partilha e gestão da informação nas empresas.

processos de tomada de decisão são sobretudo baseados na experiência dos atores envolvidos, ainda que 45% das empresas afirmem que as decisões se baseiam em dados previamente recolhidos e analisados em software destinado para o efeito. A Tabela 4 apresenta o modo de partilha e gestão das

informações das empresas.

Cientes e Parceiros

Nesta dimensão pretende-se avaliar como são disponibilizados os produtos e serviços aos clientes, bem como se existem parcerias com outras entidades

		Não adotado	Fase inicial de adoção	Adotado
Aquisição de dados	Fotogrametria	81%	12%	7%
	Internet of Things	66%	19%	15%
	Laser Scanning	70%	16%	14%
	Sensores	73%	17%	10%
Automatização de processos	Construção Modular	71%	16%	13%
	Drones	73%	23%	4%
	Impressão 3D	77%	17%	6%
	Robótica	87%	9%	4%
Informação digital e análise de dados	BIM	37%	24%	38%
	Digital Twins	83%	11%	7%
	Inteligência Artificial	86%	4%	10%
	R. Virtual / R. Aumentada	77%	14%	9%

Tabela 5 – Adoção das tecnologias.

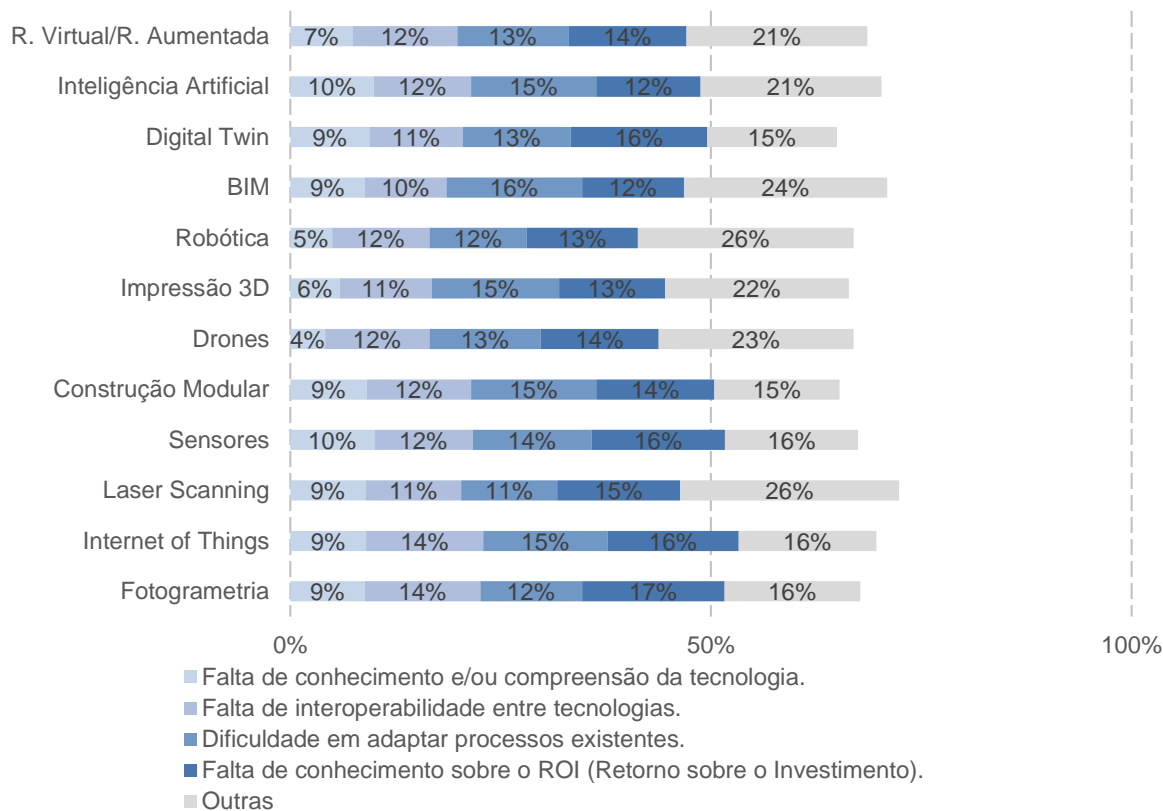


Figura 2 – Barreiras à adoção das tecnologias.

ao nível da digitalização. Assim, os dados obtidos demonstram que 76% das empresas disponibilizam os seus produtos e serviços em formato digital e online, e ainda 41% afirma permitir aos clientes personalizar estes produtos e serviços digitalmente. Relativamente à colaboração e criação de sinergias com entidades externas, 69% das empresas garantem fazê-lo para resolver problemas e adquirir novos conhecimentos.

Tecnologia

Nesta dimensão pretende-se avaliar o nível de adoção das diferentes tecnologias e identificar quais as principais barreiras a essa adoção. A Tabela 5 apresenta o nível de adoção das tecnologias nas empresas. A Figura 2 ilustra as barreiras mais destacadas pelas empresas, tendo por base as 10 barreiras identificadas em [6].

De acordo com a amostra em análise, destaca-se o BIM e Robótica, respetivamente, como as tecnologias mais e menos adotadas. Relativamente às barreiras, destacam-se a falta de conhecimento sobre ROI (Retorno sobre o Investimento), as dificuldades em adaptar processos existentes e a falta de interoperabilidade entre tecnologias.

Conclusões

As respostas obtidas no inquérito indicam que a indústria está atenta à digitalização, apesar da integração dos processos e tecnologias associadas à mesma estarem a ocorrer de forma lenta e díspar ao longo da cadeia de valor.

De acordo com os resultados, os principais obstáculos são a falta de conhecimento sobre o ROI e a dificuldade em adaptar processos existentes, verificando-se que existe ainda um longo caminho a percorrer pelas empresas do setor, nomeadamente no envolvimento das pessoas no processo de digitalização.

Agradecimentos

Este trabalho é cofinanciado pelo Fundo Social Europeu (FSE), através do Programa Operacional Regional do Norte (Norte 2020) e do Programa Operacional Regional de Lisboa (Lisboa 2020) [Referência de Financiamento: NORTE-06-3559-FSE-000176 e LISBOA-05-3559-FSE-000014]. Este trabalho é financiado por: Financiamento Base – UIDB/04708/2020 e Financiamento programático – UIDP/04708/2020 da Unidade de Investigação CONSTRUCT – Instituto de I&D em Estruturas e Construções – financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC). ■

Referências

- [1] T. Oesterreich e F. Teuteberg, "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry," *Computers in Industry*, 2016.
- [2] P. Leviäkangas et al., "Keeping up with the pace of digitization: The case of the Australian construction industry," *Technology in Society*, 2017.
- [3] A. Hossain e A. Nadeem, "Towards digitizing the construction industry: State of the art of construction 4.0.," em *Proceedings of the ISEC*, 2019.
- [4] A. Costa et al., "BUILT CoLAB – Laboratório Colaborativo: Os Desafios RDI na Construção," em 4º Congresso Português de Building Information Modelling, 2022.
- [5] T. Correia, "Análise da Implementação da Digitalização nas Empresas de Construção," *Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, 2022.
- [6] K. Lichtblau et al., "Industrie 4.0–Readiness," *Impuls-Stiftung*, 2015.

A digitalização da prevenção de riscos ocupacionais

Manuel Tender | Professor Adjunto Convidado – DEC-ISEP
mlt@isep.ipp.pt

A digitalização dos atos de projetar, construir e operar, através de novas tecnologias, tais como o Building Information Modelling (BIM), Realidade Virtual (VR), Realidade Aumentada (RA), Internet das coisas (IoT), Teleoperação (veículos aéreos ou terrestres não tripulados), Big Data (BD), Inteligência Artificial (IA) leva a que estas ferramentas comecem a tornar-se uma resposta fundamental à crescente necessidade de otimização de processos, procedimentos, tomadas de decisão e modelos de negócios. Nos últimos anos e a nível internacional tem vindo a haver uma gradual utilização de algumas destas tecnologias para efeitos de Segurança e Saúde no Trabalho (SST) sendo que já existem algumas empresas, principalmente multinacionais de grande dimensão, que estão a desenvolver esforços substanciais para utilizar a aplicação destas em cenários reais.

A primeira área onde estas tecnologias podem ter aplicação relevante é na gestão documental. A crescente complexidade das organizações exige uma maior e melhor colaboração entre as partes interessadas dado a existência de cada vez maiores volumes de documentação (em papel ou e em suporte informático, mas sempre com centenas de atributos muitas vezes difíceis de agregar e interpretar). As novas tecnologias permitem a digitalização destes documentos, a uma velocidade bastante superior à que seria se fosse feito por um ser humano, agilizando assim a sua tramitação e interpretação. Dá-se o exemplo da IA, associada a BD, quer permite, de um modo muito mais simples que o habitual, realizar a

referida agregação e interpretação de dados bem como a previsão de cenários tendo em conta o histórico de dados recolhidos.

No tocante à identificação de riscos, as novas tecnologias, pela sua elevada capacidade de processamento de informação (incluindo a vertente tridimensional) e uma abordagem mais estruturada, permitem melhorar a capacidade de identificação, avaliação e mitigação de riscos (habitualmente baseada na experiência pessoal e com uso de desenhos bidimensionais), condicionalismos e constrangimentos antecipadamente à execução dos trabalhos ou em tempo real aquando de monitorização. Outra das vantagens irá ser a possibilidade de, designadamente com RV e RA, testar antecipadamente vários cenários (técnicos, temporais ou financeiros) quer em termos de planeamento de trabalhos e identificação de riscos, quer em termos de medidas preventivas. Esta capacidade melhorará o planeamento de tarefas, bem como o planeamento de alocação de recursos para cada tarefa, minimizando a necessidade de improvisação ou soluções de última hora. A robótica e os sensores provavelmente também terão um papel importante, pois permitem a deteção de riscos, p.e. em zonas humanas não facilmente acessíveis. No caso da AI / BD, existe ainda a potencialidade de prever riscos ocupacionais, utilizando como fonte p.e. os dados obtidos na identificação automática e armazenamento de registos anteriores de comportamento inseguro ou áreas com maior risco.

No tocante à área de formação, verifica-se que as novas tecnologias tem a potencialidade de ultrapassar as limitações habituais (p.e. falta de envolvimento dos formandos devido a metodologias formativas inadequadas, passivas, não permitindo testes e à barreira linguísticas; restrições de tempo devido à formação no local que pode interferir nas atividades normais do dia a dia). Isto acontece porque, p.e. com RV ou RA, os formandos experimentam, de um modo mais acessível e de lembrança duradoura [1], rápida e repetidamente cenários diferentes e ilimitados que antes eram impossíveis, perigosos, difíceis ou caros de replicar. Assim será possível melhorar a transmissão de informação e comunicação entre todos os atores. Saliente-se que uma tendência que está a crescer significativamente a nível mundial é o uso de motores de jogos lúdicos 3D para a "gamificação" da formação dado que permite, a um baixo custo e apresentando maiores taxas de retenção, recriar operações num ambiente virtual podendo incluir avatares como agentes pedagógicos [2].

Outras das potencialidades que as novas tecnologias apresentam está relacionada com a inspeção e monitorização de estaleiros que com esta nova abordagem, adquirem o potencial de melhorar significativamente a capacidade de identificar e monitorizar tarefas, trabalhadores e equipamentos, de maneira rápida e compreensível [3] e com menor risco de erro humano na análise e interpretação de dados. Isto pode ser obtido através de sensores (ou camaras) embebidos nos EPI's, numa estrutura, ou num equipamento (como um drone ou um robot), com capacidade de se conectar à Internet em tempo real e proceder a armazenamento de dados em sistemas centrais. Os dados recolhidos nessa monitorização podem ser relativos a informações sobre vários parâmetros importantes, para a SST tais como: condições ambientais (níveis de ruído, calor, vibração, qualidade do ar, condição das ferramentas elétricas e

equipamentos no local, condições estruturais de andaimes); condição de um trabalhador (identificar em que local está; alertas quanto à proximidade de equipamentos perigosos ou entrada em áreas não autorizadas, como perímetros de segurança, bordas ou aberturas desprotegidas; postura dos trabalhadores designadamente rotação / orientação corporal – p.e. no caso de ocorrer uma queda em altura - e sinais vitais fisiológicos reais para que os primeiros sinais de problemas de segurança decorrentes de problemas de saúde ou acidentes possam ser detetados e corrigido). Essa informação capturada pelos sensores poderá adicionalmente ser interpretada com base em IA [4] tendo p.e. como objetivo a previsão de dados tais como a trajetória que determinado trabalhador tendencialmente irá tomar.

A utilização de novas tecnologias pode também propiciar situações mais seguras ao utilizar robots para a execução de determinadas tarefas, solução que oferece claras vantagens de segurança quando comparada à operação física in loco, em ambientes perigosos e nocivos (p.e. calor extremo ou presença de gases perigosos) ou em tarefas com risco acrescido (p.e. demolições), pois os operadores têm uma reduzida exposição aos riscos. Por sua vez, a utilização de exoesqueletos (uma vez que os distúrbios musculoesqueléticos são uma das preocupações reais quanto a SST e dado que se assume que a fadiga muscular aumenta o risco de lesões) oferece uma nova abordagem, uma vez que apoia ativamente o sistema músculo-esquelético usando princípios mecânicos para auxiliar os trabalhadores, p.e. no manuseamento de cargas pesadas [4].

Outra das áreas onde potencialmente se pode utilizar as novas tecnologias é no planeamento de emergência dado que o permitem otimizar, designadamente em termos de simulação de rotas de evacuação e procedimentos de resposta a emergências bem como

de fornecer cenários virtuais de situações de emergência.

As novas tecnologias podem ser usadas na investigação de acidentes de trabalho dado permitirem, através de cenários, virtuais ou modelados, recriar a sequência de eventos que levaram ao acidente e ilustrar as falhas encontradas [3]. Adicionalmente, os sistemas baseados em IA podem extrair automaticamente, a baixo custo, atributos (por exemplo, tipo de incidente ou parte do corpo afetada) de relatórios anteriores de acidentes de trabalho e a partir dessa informação prever os cenários mais prováveis de ocorrência de futuros acidentes de trabalho.

Todas estas tecnologias apresentam pontos fortes (principalmente associados à melhoria de ligação entre produção e segurança, aumentos de produtividade, redução de custos a médio e longo prazo) mas também fragilidades e ameaças das quais se salientam: a não obrigatoriedade, em termos regulamentares ou por parte da maioria dos clientes, de implementação; os investimentos necessários (hardware, software e respetiva formação com a consequente curva de aprendizagem); a resistência à mudança; e a segurança dos dados que tramitam em rede e que, assim, estão sujeitos a violações que poderão colocar em risco todas as pessoas e sistemas conectados.

As novas tecnologias poderão levar assim a uma mudança de paradigma da prevenção de riscos profissionais com potencial para prevenir acidentes e incidentes de trabalho ou doenças profissionais. É difícil fazer previsões sobre quais tecnologias terão um maior nível de desenvolvimento ou impacto nos próximos anos mas a digitalização da segurança no setor da construção é, de facto, uma realidade incontornável. ■

Referências

- [1] Kassem, M., L. Benomran, and J. Teizer, Virtual environments for safety learning in construction and engineering: seeking evidence and identifying gaps for future research. *Visualization in Engineering*, 2017. 5(1).
- [2] Dickinson, J., et al., Game-based trench safety education: development and lessons learned. *ITcon - Special issue Use of Gaming Technology in Architecture, Engineering and Construction*, 2011. 16(16): p. 118-132.
- [3] Delgado, J., et al., A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction. *Advanced Engineering Informatics*, 2020. 45: p. August 2020.
- [4] Turner, C., et al., Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and opportunities. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020. 99.

Visão por computador na inspeção e monitorização de infraestruturas

Jónatas Valença | Investigador – CERIS, IST-ID, Universidade de Lisboa
jonatas.valenca@tecnico.ulisboa.pt

Introdução

O desenvolvimento e aplicação de métodos baseados em imagem na monitorização do estado de conservação de estruturas tem apresentado um crescimento relevante [1, 2]. A sua utilização está inteiramente alinhada com o novo paradigma da Construção 4.0, podendo beneficiar as áreas de projeto, construção e manutenção inteligente. A transformação em curso baseia-se ainda na integração de algoritmos inteligentes, visão por computador, sistemas robóticos, entre outras tecnologias. Importa que estas novas abordagens de fronteira sejam parte integrante dos programas dos cursos de engenharia civil, contribuindo para a transformação e inovação da indústria da construção.

O campo de aplicação destas abordagens é vasto e, no caso da inspeção e monitorização de estruturas, permite, por exemplo, (i) calcular campos de deslocamento e de deformação, (ii) caracterizar padrão de fendilhação, (iii) mapear manchas e anomalias. Muitos destes métodos são desenvolvidos e validados em laboratório, sendo um desafio escalar os mesmos para aplicações reais. No entanto, para que a sua aplicação seja mais generalizada, é essencial que sejam validados e aplicados em estruturas em serviço ou em construção, como edifícios, pontes ou barragens. Importa ainda referir que, nesta adaptação, é fundamental que sejam definidos os limites de validade e de aplicação, assim como aferida a

qualidade dos resultados obtidos, nomeadamente, a sua precisão e exatidão.

A evolução registada, nos últimos quinze anos, da tecnologia disponível foi muito significativa. Neste artigo apresentam-se exemplos de aplicações de métodos desenvolvidos em diferentes tipos de estruturas. O trabalho de investigação aplicada baseou-se, inicialmente, na utilização da fotogrametria e do processamento de imagem no espetro visível. Posteriormente, o processamento de imagens fora do espetro visível permitiu realizar análises multi e hiperespetrais, com benefícios, por exemplo, na deteção de fendas em superfícies de betão com outras anomalias, como a colonização biológica [2]. De seguida, a visão por computador recorrendo a *machine learning* permitiu automatizar e interpretar muitas das tarefas executadas pela fotogrametria e processamento de imagem. Nos últimos anos, muitas das aplicações desenvolvidas são baseadas em *deep learning*, uma abordagem específica de *machine learning* que utiliza redes neuronais com o objetivo de reproduzir o funcionamento do cérebro humano e a forma como este utiliza a informação e aprende. Nestes casos, importa avaliar o domínio de aplicação de redes pré-treinadas, que não devem ser aplicadas em conjuntos de dados fora desse domínio. Adicionalmente, é essencial avaliar, *a priori*, se a complexidade do problema a resolver, e.g. o número de variáveis envolvidas, solicita a aplicação de redes profundas e totalmente conectadas ou redes mais

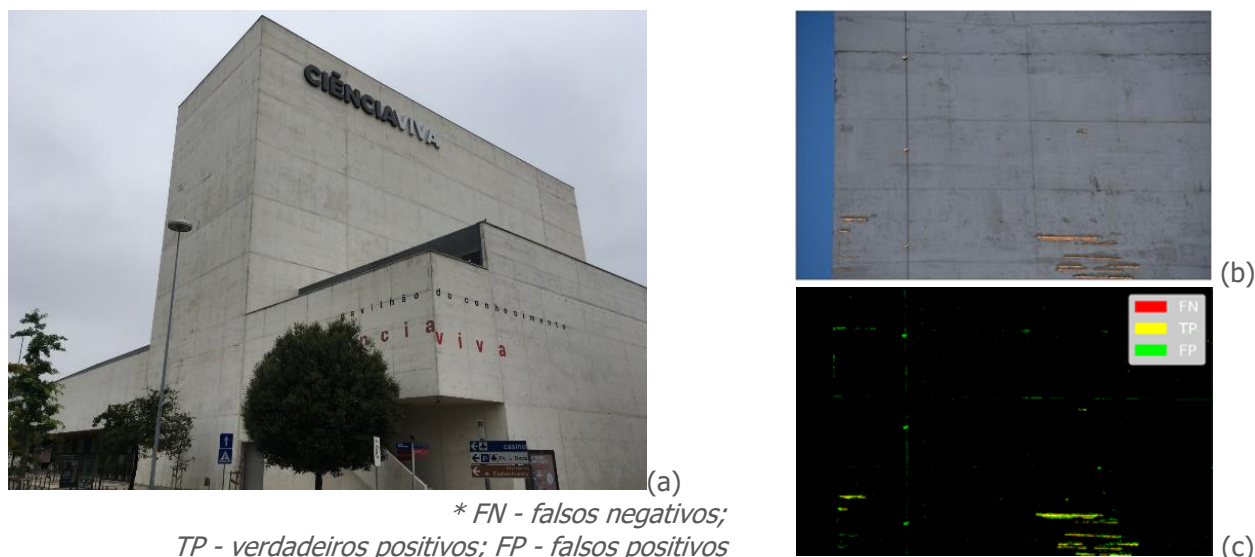


Figura 1 – Pavilhão do Conhecimento, em Lisboa: (a) vista geral; (b) mapeamento de armadura à vista num painel A; (c) mapa de exatidão no painel A.

simples. A aplicação à inspeção e diagnóstico do estado de conservação de estruturas tem revelado excelentes resultados [3].

Casos de estudo

Nesta secção são apresentadas aplicações realizadas em edifícios, pontes e barragens, resultado da adaptação de métodos previamente calibrados e validados em laboratório.

Edifícios

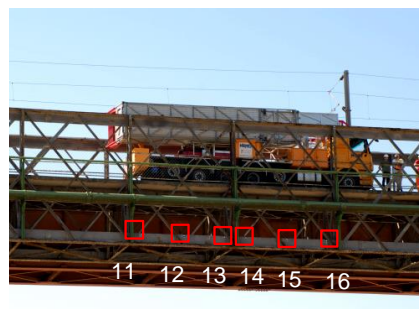
Foi desenvolvido um método que permite a localização e identificação de anomalias em superfícies de betão à vista, através da classificação imagens. Esta é uma classificação supervisionada, realizada com base na caracterização do espetro de resposta das anomalias identificadas pelo utilizador. O método proposto foi aplicado no Pavilhão do Conhecimento, em Lisboa, e permitiu identificar e mapear nas superfícies de betão branco à vista o seguinte: (i) armadura à vista; (ii) desagregação do betão; (iii) indícios de corrosão; (iv) delaminação do betão; (v) colonização biológica. Foi realizada uma aquisição sistematizada, com recurso a uma estação terrestre robotizada, dividindo a fachada em várias partes. Na Fig. 1 apresenta-se, como exemplo, os resultados no 'painel A', nomeadamente,

a identificação e mapeamento de 'armadura à vista' (Fig. 1b) e o mapa de avaliação dos resultados obtidos (Fig. 1c). O método permitiu mapear as várias anomalias identificadas em toda a fachada analisada, de forma eficiente e com reduzida intervenção humana.

Pontes

Aplicações para medir deslocamentos durante a realização de ensaios de carga, são muitas vezes utilizadas em pontes [4], como no caso da Ponte da Praia do Ribatejo sobre o Rio Tejo (Fig. 2) onde se utilizou fotogrametria para o efeito [5]. Os resultados foram confrontados, em alguns pontos, com a medição realizada através de topografia. Foram medidas 17 secções da ponte através de fotogrametria, das quais 6 também foram avaliadas com topografia, tendo-se dessa forma validado os valores obtidos.

A visão por computador pode também ter um papel importante na deteção e mapeamento da fendilhação em pontes de betão, tarefa difícil de realizar por inspeção visual, ainda a abordagem mais utilizada [6]. Na identificação do padrão de fendilhação em grandes infraestruturas, importa combinar o processamento de imagem com uma aquisição sistematizada, que pode



Alvo	Fotogrametria	Topografia
11	-	
12	10	10
13	10	
14	11	
15	12	9
16	11	

Figura 2 – Ponte da Praia do Ribatejo sobre o Rio Tejo: monitorização de deslocamentos durante ensaios de carga através de fotogrametria.

recorrer sempre que conveniente a plataformas robotizadas para adquirir imagens em áreas de difícil acesso. A título de exemplo, apresenta-se o mapeamento de áreas fendilhadas na Ponte Rainha Santa Isabel, em Coimbra (Fig. 3) [7]. O levantamento fotográfico foi planeado considerando a combinação de uma plataforma terrestre robotizada, equipada com uma câmara de elevada resolução, com a utilização de um veículo aéreo não tripulado (VANT), equipado com uma câmara 3D, entre outros sensores (Fig.3b-c). O procedimento realizado implicou a identificação de zonas críticas através do processamento das imagens de elevada resolução que, posteriormente, eram

avaliadas com imagens adquiridas com o VANT a curta distância (Fig. 3d).

Barragem

Tal como no caso das pontes e viadutos, a monitorização da fendilhação em barragens de betão é relevante para o seu plano de manutenção e segurança. Também nestes casos o processamento e análise de imagens adquiridas com plataformas robotizadas tem elevado interesse. A Fig. 4 ilustra os resultados da caracterização de uma fenda num dos blocos de betão da Barragem de Itaipu, localizada no Rio Paraná, na fronteira entre o Brasil e o Paraguai [7]. Dadas as elevadas dimensões dos elementos de



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3 – Ponte Rainha Santa Isabel, Coimbra: (a) vista jusante; (b) plataformas de aquisição de imagem; (c) mosaico de imagem adquiridas; (d) localizações de áreas com fendas.

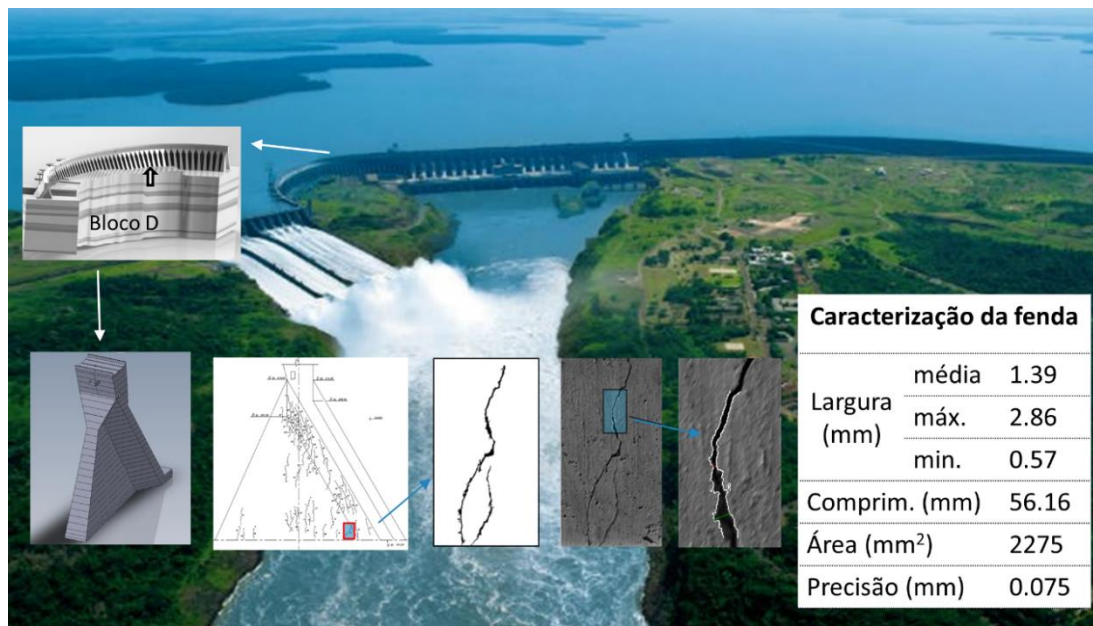


Figura 4 – Barragem de Itaipu: localização e caracterização de uma fenda.

betão a avaliar (Blocos), foi aplicada uma análise Global-Local onde, após detecção das fendas, foi realizada uma aquisição local das mesmas, permitindo a sua caracterização, ou seja, medição da largura, comprimento e área, com uma precisão inferior a 0.1mm.

Considerações finais

A aplicação de métodos baseados em imagem apresenta várias vantagens na automatização da inspeção e monitorização de estruturas. Estes métodos, aliados a uma aquisição de imagem com recurso a plataformas robotizadas, conseguem obter parâmetros relevantes na avaliação do estado de conservação de estruturas, num número elevado de pontos e, não raras vezes, em secções difíceis, ou mesmo impossíveis, de avaliar através dos métodos tradicionais. Os resultados obtidos permitem, assim, auxiliar as inspeções em estruturas, reduzindo o tempo de execução e dispensando o acesso direto aos elementos avaliados.

Apesar dos métodos baseados em imagem para o levantamento geométrico e medição de deslocamentos e deformações serem já muito difundidos, torna-se

fundamental recorrer a soluções específicas para aplicações onsite em grandes estruturas, de forma a atingir a qualidade do resultado requerida para a sua avaliação. Os métodos apresentados para o mapeamento de fendilhação em estruturas de betão são aplicáveis a grandes áreas sem perda de precisão, devido à aquisição sistematizada e aos algoritmos atualmente existentes, o que permite ultrapassar muitos dos constrangimentos existentes numa inspeção visual, representando uma solução extremamente atrativa.

Agradecimentos

O autor agradece o apoio dado pela FCT, através do projeto CEECIND/04463/2017. ■

Referências

1. Dong, C-Z, Catbas, F.N. A review of computer vision-based structural health monitoring at local and global levels, *Structural Health Monitoring*, Sage 20(2). <https://doi.org/10.1177/14759217209355>
2. Valença, J. et al. Automatic Concrete Health Monitoring – Assessment and Monitoring of Concrete Surfaces, *Structure and Infrastructure Engineering*.

Maintenance, Management, Life-Cycle Design & Performance, Taylor & Francis 10(12): 1547-1554, December 2014.

<http://dx.doi.org/10.1080/15732479.2013.835326>

3. Santos, B. et al. Automatic mapping of cracking patterns on concrete surfaces with biological stains using hyper-spectral images processing, Structural Control and Health Monitoring, Wiley, 26(3), March 2019. <https://doi.org/10.1002/stc.2320>

4. Valença, J. et al. Benchmarking for strain evaluation in CFRP laminates using computer vision: Machine Learning versus Deep Learning. Materials 15 (18), 6310, MPDI, September 2022.

<https://doi.org/10.3390/ma15186310>

5. Valença, J. et al. Applications of Photogrammetry in Structural Assessment, Experimental Techniques, Wiley 36(5): 71-81, September/October 2012.

<http://dx.doi.org/10.1111/j.1747-1567.2011.00731.x>

6. Júlio, E. et al. Caracterização Estrutural da Ponte da Praia do Ribatejo sobre o Rio Tejo. 2º Congresso Segurança e Conservação de Pontes - ASCP'2011 (ISBN: 978-989-2403-5), FCTUC, Coimbra- Portugal, 29 de Junho a 1 de Julho, 2011

7. Valença, J. et al. Assessment of cracks on concrete bridges using image processing supported by laser scanning survey. Construction and Building Materials, Elsevier 146: 668-678, August 2017.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.04.096>

8. Valença, J., et al. Aerial Crack View: Crack monitoring in concrete bridges through image processing acquired by UAV. Congress of IABSE: The Evolving Metropolis, p.2459-2466, NY-USA, September 2-6, 2019.

9. Valença, J., Júlio, E. MCrack-dam - the scale-up of a method to assess cracks on concrete dams by image processing. The case-study of Itaipu Dam, at the Brazil-Paraguay border. Journal of Civil Structural Health Monitoring, Springer 8(5): 857-866, November 2018. <https://doi.org/10.1007/s13349-018-0309-0>



Controlo de todo o
fluxo do projeto
estrutural **ao seu
alcance**

Software Tekla para a Indústria da Construção

Informações precisas e confiáveis, tão detalhadas quanto o preciso e sempre disponíveis, são necessárias para um fluxo de trabalho estrutural bem-sucedido. Com o software Tekla, o seu projeto construível permitirá um fabrico sem erros e uma construção bem-sucedida. Dê as boas-vindas a fluxos de trabalho produtivos e clientes satisfeitos.

Learn more at: www.construsoft.com

 **Tekla**[®]
A Trimble Solution

O estudo da estabilidade de taludes rochosos: a adopção de novas tecnologias e o recurso a ferramentas informáticas

José Filinto Trigo

Professor Coordenador | NEC – LABCARGA – ISEP
jct@isep.ipp.pt

Liliana Freitas

Investigadora | GeoBioTec – LABCARGA – ISEP

José Teixeira

Professor Auxiliar | LABCARGA – CEGOT – FLUP

Jorge Sousa

Engenheiro Civil | SkyCam Aero Footage

Maria José Afonso

Professora Adjunta | GeoBioTec – LABCARGA – ISEP

Helder I. Chaminé

Professor Coordenador | GeoBioTec – LABCARGA – ISEP

Enquadramento

No Noroeste de Portugal Continental, sobretudo em locais onde as condições geológicas, hidrológicas e geomorfológicas promoveram a modelação natural do terreno com a presença de elevados declives e de blocos rochosos com formas e dimensões diversas, são frequentes manifestações de instabilizações associadas à queda destes elementos (Trigo et al., 2021) (Figura 1 a). Em cenários com intervenção humana, sobretudo em taludes definidos em encostas rochosas para a instalação de vias rodoviárias ou ferroviárias, é também comum a manifestação deste tipo de instabilizações (Chaminé et al., 2010, 2021) (Figura 1 b).

Estas quedas envolvem, por vezes, danos significativos, e estão associadas, frequentemente, a fenómenos naturais, como a ocorrência de sismos, de precipitação de elevada intensidade ou com uma prolongada duração, podendo resultar ainda de acções antrópicas, como a devastação do coberto vegetal por incêndios ou vibrações associadas a tráfego pesado ou a acções de desmonte. Nesta região, a presença de água é, geralmente, o factor responsável pelo

desencadeamento deste tipo de instabilizações (Zêzere et al., 2015).

O Noroeste de Portugal Continental classifica-se, em termos bioclimáticos, como de tipo Atlântico, sendo muito influenciado pela orientação do relevo, que corporiza o primeiro obstáculo ao fluxo de Oeste, após um longo trajecto sobre o Oceano Atlântico (Alcoforado et al., 1982). Nesta área geográfica, a precipitação diminui do litoral para o interior, devido à localização de barreiras orográficas, podendo com frequência atingir valores máximos da ordem de 3000 mm/ano, nas serras do Gerês e da Cabreira, e mínimos abaixo de 500 mm/ano no vale do rio Douro, junto a Vila Nova de Foz Côa. Nas montanhas desta região ocorrem valores médios da ordem de 1200 a 1500 mm/ano, concentrando-se a precipitação, principalmente, nas estações chuvosas, de Outubro a Março (Daveau et al., 1977). Por outro lado, e tendo como referência a Península Ibérica, quando se considera a frequência de precipitações diárias intensas, observa-se que o número médio anual de dias com precipitação maior que 30 mm atinge valores máximos, superiores a 20 dias, no Noroeste de



Figura 1 – Cenários de queda de blocos: a) vertente natural b) talude rochoso adjacente a via rodoviária.

Portugal Continental e em algumas zonas do norte de Espanha (AEMET & IM, 2011).

Esta intensa precipitação, responsável pela forte presença de água nos maciços rochosos, tem, frequentemente, um duplo efeito desfavorável na sua estabilidade. Com efeito, a infiltração de água nas descontinuidades induz um aumento de pressão sobre as superfícies rochosas adjacentes e, por outro lado, promove a redução da resistência ao corte dessas superfícies. A água é responsável, também, pelo carreamento de partículas de reduzida dimensão, que se acumulam nas descontinuidades, preenchendo-as de material pouco resistente e muito deformável. Noutras condições, em descontinuidades já preenchidas com este tipo de material, a água, infiltrando-se, promove a respectiva lavagem. No Inverno, em períodos de temperaturas mais baixas, a água presente nas descontinuidades gela, impondo tensões adicionais sobre as superfícies rochosas, que podem permanecer instaladas durante longos períodos, sobretudo em vertentes orientadas a Norte. Em vertentes viradas a Sul, mais expostas ao Sol e, por conseguinte, sujeitas a maiores amplitudes térmicas, a formação de gelo a partir da água presente nas descontinuidades pode traduzir-se em ciclos de gelo e degelo e na conseqüente variação das tensões instaladas nas superfícies rochosas.

Nos blocos isolados que ocorrem dispersos, com frequência, nas vertentes desta área do país, a água

constitui também um factor de redução da respectiva estabilidade. O seu escoamento na base do bloco vai erodindo o material que compõe a sua superfície de apoio, geralmente de origem terrosa, promovendo o seu descalçamento. Esse escoamento é também responsável pelo transporte de material terroso e de blocos rochosos de menores dimensões, provenientes de cotas superiores, que poderão constituir, sobre o bloco isolado, uma acção instabilizadora adicional. Este efeito de caudais temporários, gerados na sequência de uma intensa e (ou) prolongada precipitação, que se escoam, geralmente, em regime torrencial, é mais evidente quando os blocos se localizam junto a uma linha de talvegue, podendo nestes casos ser desencadeado, com maior facilidade, o respectivo transporte e a sua queda ao longo da encosta.

Estudo da estabilidade de taludes rochosos: uma metodologia

O Núcleo de Estudos da Construção (NEC) e o Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (Labcarga) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP) têm desenvolvido diversos estudos de estabilidade de taludes rochosos ou vertentes naturais, localizados na região Noroeste de Portugal.

Na sequência destes estudos interdisciplinares, estabeleceu-se uma metodologia de intervenção que foi evoluindo, congregando o emprego de técnicas tradicionais de abordagem com a utilização de

tecnologias mais recentes, bem como com a adopção de ferramentas informáticas.

Esta metodologia envolve, numa primeira fase, uma detalhada recolha fotográfica e um levantamento topográfico, hidroclimatológico, morfotectónico e geoestrutural da área de estudo e, numa fase posterior, uma avaliação geotécnica, geomecânica, hidrológica e hidrogeológica. São compiladas as principais características geológicas, hidrogeológicas, geotécnicas e geomecânicas e integradas ao longo dos taludes rochosos. Para os levantamentos de campo é usado um GPS de alta precisão (Trimble GeoExplorer). Para a síntese e tratamento dos inúmeros dados cartografados no terreno são usadas a calculadora dos parâmetros geológico-geotécnicos "GeoTech|CalcTools: ScanGeoData|BGD&SchmidtData|UCS" (Chaminé et al., 2016) e a calculadora geomecânica MGC-RocDesign|CALC (Pinheiro et al., 2014).

O estudo de afloramentos rochosos inclui a descrição e a avaliação das propriedades mecânicas da rocha intacta e das discontinuidades do maciço e apoia-se na aplicação da técnica de amostragem linear. Todos os parâmetros geológicos e geotécnicos básicos do maciço rochoso são investigados e registados. Para definir os principais conjuntos de discontinuidades, os dados de geologia estrutural coletados são analisados com o software Dips (Rocscience). Para classificar a qualidade dos maciços rochosos, são fundamentais os seguintes sistemas de classificação geomecânica e (ou) índices geotécnicos: Rock Mass Rating [RMR], Slope Mass Rating [SMR] e Geological Strength Index [GSI]. A classificação SMR também é essencial para avaliar a estabilidade dos taludes e para fornecer informação sobre os principais mecanismos locais potenciais de instabilidade (e.g., Hack, 2002; Wyllie & Mah 2004; Pantelidis, 2009; Bauer & Neumann, 2011; Volkwein et al., 2011).

Para a avaliação do nível de perigosidade do talude, determina-se ainda o Slope Quality Index (SQI), proposto por Pinheiro et al. (2015), especialmente desenvolvido para a aplicação a taludes adjacentes a vias rodoviárias.

A aplicação destas classificações e a avaliação deste índice culminam no desenvolvimento das cartografias de susceptibilidade e do grau de perigosidade do talude.

Em simultâneo com a cartografia geológico-geotécnica, realizada com a técnica de amostragem linear, pode decorrer o levantamento fotográfico do talude com o recurso a um Unmanned Aerial Vehicle (UAV), usualmente designado "drone". As fotografias são obtidas com um intervalo de 2 s e com uma sobreposição superior a 60%. Os voos são efectuados a diversas altitudes, relativamente ao solo, e sempre que possível realizam-se voos para a obtenção de fotografias perpendiculares ao talude. Desta forma, é possível obter resoluções da ordem de 1 cm/pixel. Os dados recolhidos com um UAV são posteriormente tratados e processados através de software de fotogrametria (e.g., OpenDroneMap). Este tipo de programa permite gerar ortofotomapas georreferenciados de alta resolução, bem como o referido modelo tridimensional.

O modelo digital de terreno possibilita o cálculo de parâmetros do talude (e.g., comprimento, inclinação, altura, etc.) e dos blocos rochosos (e.g., volume e forma), bem como a definição de perfis transversais que permitem interpretar e reproduzir, de forma mais pormenorizada, a morfologia do talude e servir de apoio à concepção e ao dimensionamento das soluções de reforço e de protecção, nomeadamente na fase de modelação da queda de blocos rochosos, por exemplo recorrendo ao software Rocfall (Rocscience) (Figura 2).

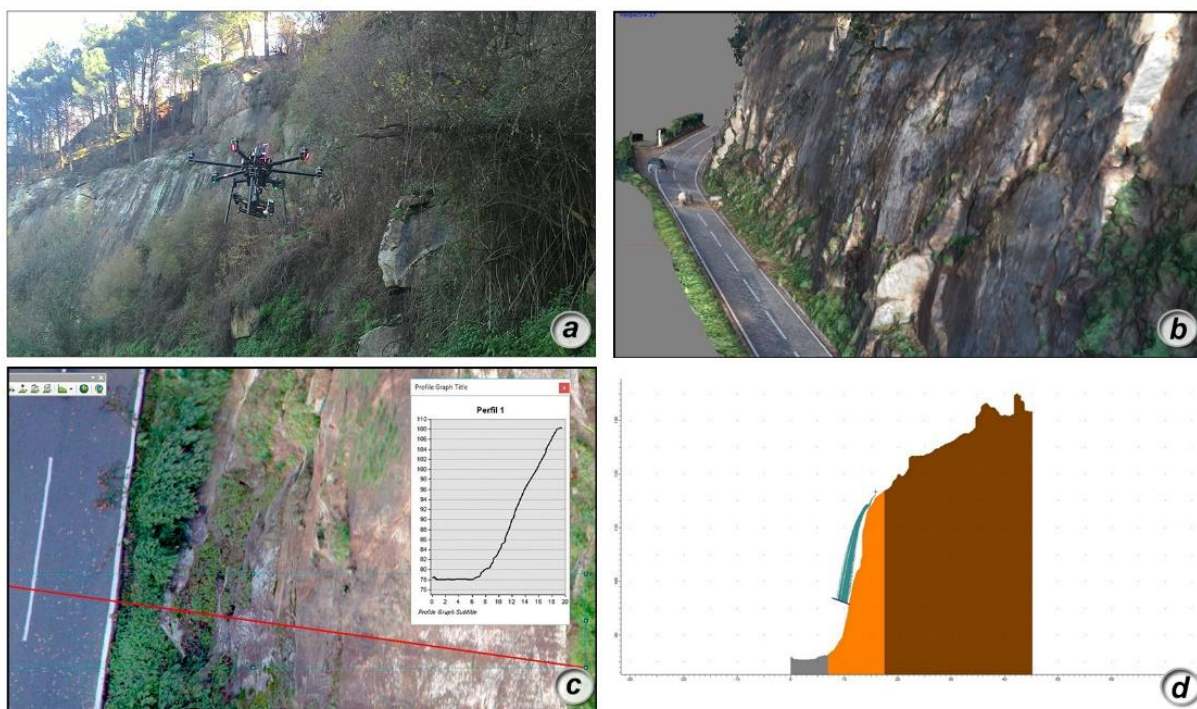


Figura 2 – Alguns aspectos da metodologia adoptada: a) levantamento fotográfico com “drone”; b) modelo digital tridimensional com sobreposição de ortofotomapa; c) definição de perfis transversais, a partir do modelo tridimensional; d) modelação da queda de blocos.

Considerações finais

As áreas susceptíveis a quedas de blocos rochosos devem ser identificadas e estudadas, recorrendo a abordagens multidisciplinares, podendo reduzir-se, assim, os danos associados, através de acções preventivas.

Embora a experiência e a perspicácia continuem a ser atributos fundamentais para a adequada interpretação e diagnóstico de problemas de índole geotécnica, bem como para a concepção e o dimensionamento das melhores soluções de projecto, na actualidade o recurso a novas tecnologias e a programas de cálculo automático torna-se imperativo em diferentes fases. A metodologia de estudo da estabilidade de taludes rochosos ou vertentes naturais foi aplicada, com sucesso, a vários casos na região Noroeste de Portugal Continental. As instabilizações de blocos rochosos estão geralmente associadas a precipitação, decorrente de períodos de elevada intensidade ou de longos e contínuos períodos de intensidade moderada. Nesta metodologia convivem abordagens tradicionais

com tecnologias inovadoras, análises detalhadas, à escala do bloco, com interpretações à escala do talude, classificações de utilização consolidada e globalmente difundida, articuladas com propostas mais recentes, procurando garantir a redundância da fundamentação sobre a instabilidade do talude e a optimização da concepção e do dimensionamento das soluções de protecção ou de reforço. ■

Referências

- Alcoforado MJ, Alegria MF, Pereira AR, Sirgado C (1982) Domínios bioclimáticos em Portugal, definidos por comparação dos índices de Gaussen e de Emberger. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- AEMET & IM (2011) Atlas climático Ibérico: temperatura do ar e precipitação (1971-2000). Agencia Estatal de Meteorología (Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino) e Instituto de Meteorologia de Portugal.

- Bauer M, Neumann P (2011) A guide to processing rock-fall hazard from field data. In: Vogt N, Schuppener B, Straub D, Bräu G (eds), Proceedings of the 3rd International Symposium on Geotechnical Safety and Risk, ISGSR 2011, Munich, Germany, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, p. 149-156.
- Chaminé HI, Afonso MJ, Silva RS, Monteiro R, Teixeira J, Moreira P, Meixedo JP, Trigo JF (2010) Da teoria à prática em geotecnia urbana de maciços rochosos: o exemplo da zona ribeirinha de Gaia. *Tecnologia e Vida, Revista da Secção Regional do Norte da ANET*, Porto, 6:39-45.
- Chaminé HI, Afonso MJ, Trigo JF, Freitas L, Ramos L, Carvalho JM (2021) Site appraisal in fractured rock media: coupling engineering geological mapping and geotechnical modelling. *Eur Geol J*, 51:31-38.
- Chaminé HI, Pinheiro R, Meirinhos J, Santa C, Pereira R, Silva RS, Moreira P, Madureira MM, Martins A, Fonseca L, Ramos L (2016) Aplicativos informáticos para análise e avaliação de dados de campo em geociências de engenharia, geotecnia e hidrogeomecânica de maciços rochosos fracturados: MGC-RocDesign|Calc e GeoTech|CalcTools. In: H.I. Chaminé, M.J. Afonso, A.C. Galiza (eds.), Eduardo Gomes (1931-2008): Engenheiro, Docente, Empreendedor - Uma Homenagem. Coleção LABCARGA-Geo|2, Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada & Departamento de Engenharia Geotécnica, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto. p. 345-377.
- Daveau S, Coelho C, Gama e Costa V, Carvalho L (1977) Répartition et rythme des précipitations au Portugal. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Hack R (2002) An evaluation of slope stability classification. In Dinis da Gama C, Sousa LR (eds), Eurock'2002, ISRM, Funchal, Sociedade Portuguesa de Geotecnia, p. 3-32.
- Pantelidis L (2009) Rock slope stability assessment through rock mass classification systems. *Int J Rock Mech Min Sci* 46:315-325.
- Pinheiro M, Sanches S, Miranda T, Neves A, Tinoco J, Ferreira A, Correia AG (2015) A new empirical system for rock slope stability analysis in exploitation stage. *Int J Rock Mech Min Sci* 76:182-191.
- Pinheiro R, Ramos L, Teixeira J, Afonso MJ, Chaminé HI (2014) MGC-RocDesign|CALC: a geomechanical calculator tool for rock design. In: Alejano LR, Peruchó A, Olalla C, Jiménez R (eds), Proceedings of Eurock'2014, Rock Engineering and Rock Mechanics: Structures in and on Rock Masses (ISRM European Regional Symposium, Vigo), CRC Press/Balkema, Taylor & Francis Group, London, p. 655-660.
- Trigo JF, Pacheco C, Fernandes J, Ferraz P, Sousa J, Machado R, Duarte S, Mendes A, Freitas L, Teixeira J, Ramos L, Afonso MJ, Chaminé HI (2020) Geotechnical hazards in rocky slopes (Northern Portugal): focused on methodology. In: Fernandes F, Malheiro A, Chaminé HI (eds) *Advances in Natural Hazards and Hydrological Risks: Meeting the Challenge*, Proceedings of the 2nd International Workshop on Natural Hazards (NATHAZ'19), Pico Island—Azores 2019, Springer, Cham, p. 69-73.
- Volkwein A, Schellenberg K, Labiouse V, Agliardi F, Berger F, Bourrier F, Dorren LKA, Gerber W, Jaboyedoff M (2011) Rockfall characterisation and structural protection: a review. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 11:2617-2651.
- Wyllie DC, Mah CW (2004) *Rock slope engineering: civil and mining*. 4th Edition. Spon Press, London.
- Zêzere JL, Vaz T, Pereira S, Oliveira SC, Marques R, Garcia RAC (2015) Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. *Environ Earth Sc* 73(6):2917-2936.

A experiência do ISEP em projetos de investigação e desenvolvimento no domínio da digitalização em engenharia civil

Diogo Ribeiro | Professor Adjunto – ISEP
Ricardo Santos | Professor Adjunto – ISEP

Introdução

O presente artigo tem como objetivo realizar uma descrição sumária de projetos de Investigação e Desenvolvimento (I&D) atualmente em curso no ISEP no domínio da digitalização na área da engenharia civil.

O projeto INSPECDRONE está focado na identificação de anomalias na envolvente exterior de edifícios industriais com base em técnicas de inteligência artificial e com o apoio de veículos aéreos não tripulados (2021-22) e é financiado pela empresa Multiprojectus.

O projeto de cooperação bilateral Portugal-Polónia está direcionado para a avaliação da condição estrutural de pontes ferroviárias existentes com o apoio de inteligência artificial (2022-23), sendo financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e a Polish National Agency for Academic Exchange (Polónia) e realizado em parceria com o Road and Bridge Research Institute (IBDIM) da Polónia.

Por último, o projeto em co-promoção WAY4SAFERAIL - WAYSIDE monitoring system FOR SAFE RAIL transportation (2021-23), é financiado pela Agência da Inovação (Ref. 69595/ANI) e realizado em parceria com a Evoleo Technologies e a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto e visa conceber, do lado da via, um sistema de monitorização capaz de

avaliar a condição das rodas dos comboios em operação.

No âmbito dos projetos mencionados são desenvolvidas e aplicadas novas tecnologias e metodologias que se enquadram no domínio da Indústria 4.0, nomeadamente as relacionadas com técnicas avançadas de captura da realidade, inspeção remota e monitorização estrutural, todas com suporte de inteligência artificial.

O projeto INSPECDRONE

O projeto INSPECDRONE incide no desenvolvimento de uma metodologia experimental autónoma capaz de identificar, com precisão, anomalias existentes na envolvente exterior de edifícios industriais, sobretudo coberturas e fachadas. As anomalias e patologias a identificar estão geralmente relacionadas com a presença de corrosão, danos mecânicos em painéis e zonas de acumulação de águas.

A metodologia proposta assenta na análise e processamento de imagens no espetro do visível, georreferenciadas e recolhidas por intermédio de câmaras RGB acopladas a veículos aéreos não-tripulados (UAVs) (Fig. 1). O algoritmo de análise e processamento de imagem a desenvolver recorre a técnicas supervisionadas baseadas em redes neuronais convolucionais (CNNs) e a um dos seus



Figura 1 – Veículo aéreo não tripulado utilizado na inspeção remota.

desenvolvimentos mais recentes a Mask-R-CNN. As CNNs requerem um procedimento de treino baseado num conjunto alargado de imagens do mundo real representativas de cenários com anomalias e sem anomalias, além da definição de um modelo de classificação eficiente baseado num agrupamento de layers sucessivos (convolução, ReLU, *pooling*, *dropout*, *fully connected*, etc.) associadas a operadores matemáticos específicos. Para algumas anomalias a arquitetura da rede neuronal será baseada em CNNs já existentes e pré-treinadas, eventualmente com uma configuração modificada de *layers*. Noutros casos será necessária a criação de novas bases de dados de imagens e novas arquiteturas de CNN.

A metodologia proposta é capaz de detetar as anomalias/patologias existentes nas coberturas e fachadas e realizar o seu mapeamento com base em ortofotomosaicos georreferenciados. Com base na informação recolhida em campo é ainda realizada a reconstituição tridimensional e fotogramétrica da envolvente exterior do edifício.

A monitorização das anomalias ao longo da vida útil das infraestruturas, com uma periodicidade regular, permitirá realizar o acompanhamento mais eficiente da evolução do seu estado de conservação, permitindo ao gestor da infraestrutura definir a natureza das intervenções de manutenção e reparação assim como o seu planeamento atempado. Em particular, a informação das anomalias/patologias registadas

poderá ser integrada em modelos BIM-FM já desenvolvidos, articulando com modelos digitais de gestão as intervenções previstas, a sua calendarização, o seu custo, os recursos e equipamentos a mobilizar, entre outros.

A título exemplificativo, ilustra-se na Fig.2 a aplicação da metodologia de inteligência artificial baseada numa Mask-R-CNN que foi especificamente desenvolvida para a deteção de corrosão em painéis tipo *sandwich* em coberturas. Do lado esquerdo são apresentadas as imagens originais da cobertura onde é visível a presença de corrosão com diferentes níveis de desenvolvimento. Do lado direito são apresentadas as imagens processadas com a identificação da patologia por intermédio de máscaras que são sobrepostas aos pixels da imagem onde foi detetada a corrosão. Os resultados demonstram a elevada robustez e eficiência da metodologia desenvolvida na deteção da corrosão em painéis tipo *sandwich*, nomeadamente, na presença de objetos não pertencentes ao revestimento da cobertura com corrosão visível (Fig. 2a), em condições difíceis de sombreamento (Fig. 2b) e na presença de sujidades e escorrências (Fig. 2c).

O projeto de cooperação bilateral Portugal-Polónia

Uma avaliação eficiente da integridade estrutural das pontes ferroviárias é um instrumento fundamental para os gestores da infraestrutura garantirem a segurança da operação ferroviária. Normalmente, a avaliação estrutural é realizada com base em informações obtidas por meio de inspeções visuais e sistemas de Monitorização da Integridade Estrutural (SHM). Porém, mais recentemente, novas metodologias de avaliação remota da condição das pontes têm surgido, principalmente as que recorrem a Veículos Aéreos Não Tripulados (UAVs).

O projeto de cooperação bilateral Portugal-Polónia visa desenvolver e implementar uma estratégia de

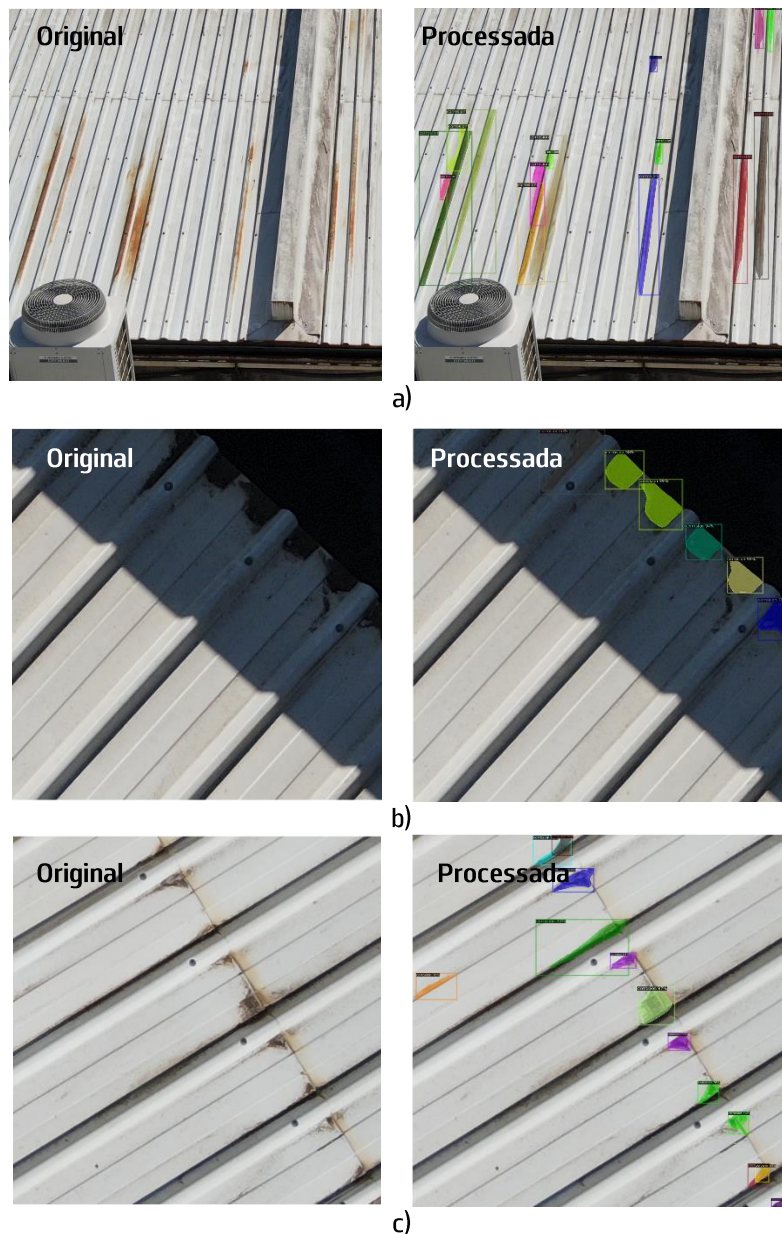


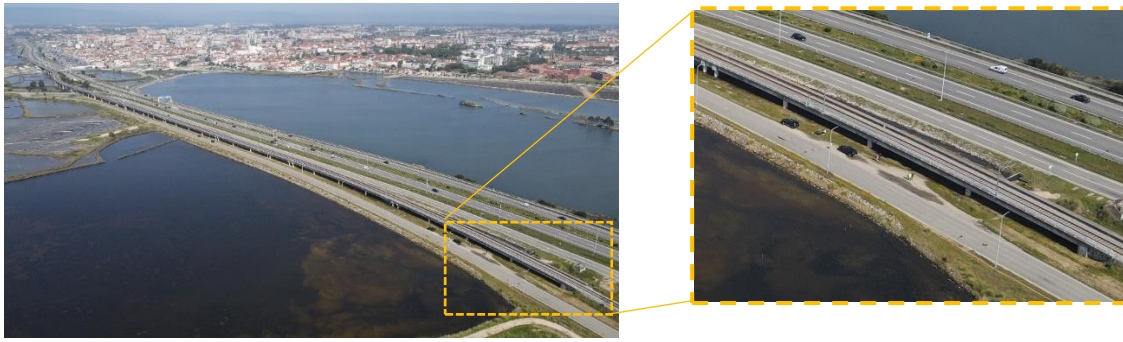
Figura 2 – Detecção de corrosão em painéis tipo sandwich com recurso a técnicas de Inteligência Artificial: a) na presença de objetos não pertencentes ao revestimento da cobertura; b) em condições de sombreamento; c) na presença de sujidades/escorrências.

avaliação da condição baseada na fusão de dados fornecidos por sistemas SHM e imagens recolhidas através de UAVs. A análise de dados é automatizada e baseada em técnicas de Inteligência Artificial (AI). A estratégia proposta será aplicada a duas pontes localizadas nas redes ferroviárias Portuguesa e Polaca. Os resultados da pesquisa irão melhorar o conhecimento atual da monitorização remota da condição dos ativos ferroviários em Portugal e na

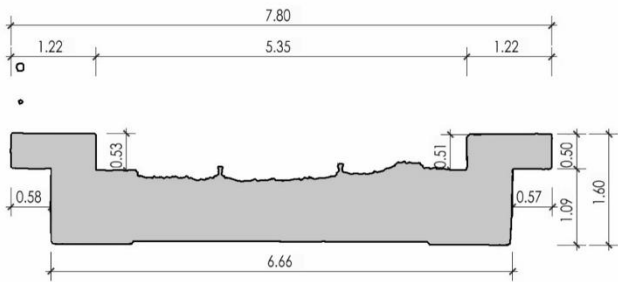
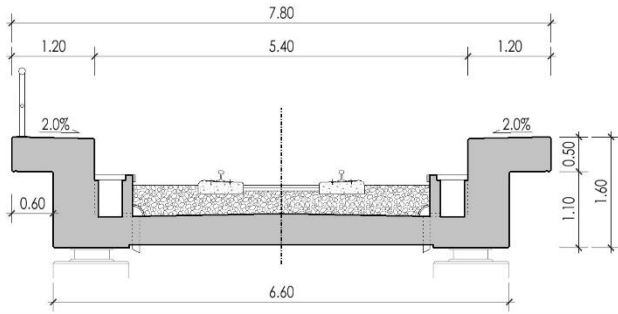
Polónia e deste modo auxiliar a gestão da sua manutenção no ciclo de vida.

No caso Português, o caso de estudo selecionado foi o viaduto a Oeste da ponte das Pirâmides, localizado no ramal de acesso ao Porto de Aveiro (Fig. 3a). Em particular, foi estudado um dos módulos deste viaduto com uma extensão de 100 m (4 × 25 m).

Entre as atividades em curso importa destacar o desenvolvimento de um gémeo digital (*Digital Twin*) cuja definição geométrica foi realizada com o apoio de



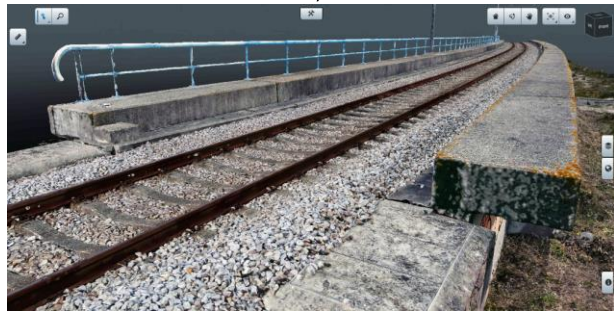
a)



c)



b)



d)

Figura 3 – Caso de estudo do viaduto Oeste de acesso à Ponte das Pirâmides (Aveiro): a) vista global e detalhe do módulo alvo do estudo; b) levantamento geométrico 3D com recurso a veículo aéreo não tripulado e sistema Laser; c) secção transversal do tabuleiro – projeto vs levantamento geométrico *in situ*; d) levantamento fotogramétrico 3D.

um levantamento terrestre, por meio de um equipamento de laser scanning, complementado com um levantamento fotogramétrico, por intermédio de um veículo aéreo não tripulado (Fig. 3b). A informação destes levantamentos possibilitou a realização de um modelo digital tridimensional georreferenciado, conforme ilustrado na Fig. 3c. Na Fig. 3d ilustra-se uma comparação da secção transversal tipo do tabuleiro com base na informação de projeto e a resultante do levantamento geométrico de precisão realizado *in situ*.

O projeto WAY4SafeRail

O setor ferroviário tem vindo a ocupar um papel cada vez mais relevante na sociedade e tanto a segurança na circulação como os custos de manutenção são pontos importantes para os gestores e operadores ferroviários.

Os acidentes ferroviários graves são raros, mas podem ter consequências desastrosas e provocam geralmente inquietação e perda de confiança por parte da sociedade relativamente ao desempenho operacional do sistema ferroviário em termos de segurança. Uma

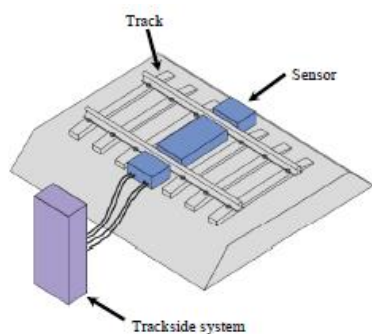


Figura 4 – Sistema de monitorização *wayside* (Ngigi et al., 2012).

das causas de acidentes ferroviários são os defeitos geométricos no contacto roda-carril, tais como defeitos geométricos nas rodas. Estes podem ser identificados por sistemas avançados de monitorização colocados na via-férrea, denominados sistemas *wayside*.

Neste contexto, o projeto WAY4SafeRail visa conceber um sistema de monitorização de baixo custo capaz de avaliar a condição das rodas dos comboios em operação, monitorizando e categorizando a severidade de eventuais danos. Além disso, pretende-se que o sistema detete situações de instabilidade em circulação ferroviária, tais como as cargas verticais desequilibradas.

O sistema de monitorização será composto por diversos elementos, incluindo sensores, *gateway* de comunicações, agentes computacionais (incluindo algoritmos e gémeos digitais) e uma plataforma de gestão de dados. O sistema a colocar na via-férrea, será constituído pelo número mínimo necessário de sensores (extensómetros e acelerómetros) de modo a

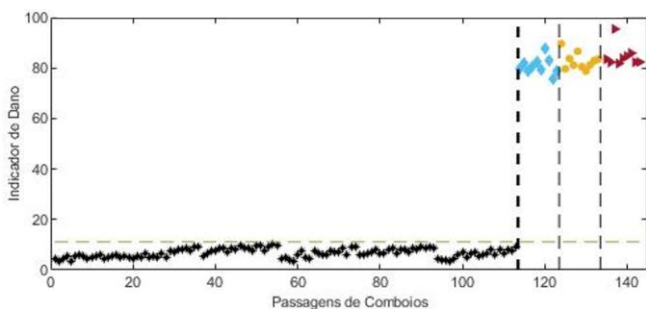


Figura 5 – Classificação de indicadores de dano para distinguir rodados defeituosos de rodados não defeituosos.

desenvolver-se uma solução de baixo custo, mas que cumpra os requisitos básicos de monitorização. Na Fig. 4 ilustra-se uma possível configuração experimental de medição.

Os dados obtidos do sistema de monitorização irão alimentar a camada de extração de conhecimento que, através da aplicação de técnicas de Inteligência Artificial irá selecionar os indicadores de desempenho mais promissores e classificar automaticamente os comportamentos medidos segundo diferentes graus de severidade. A classificação dos comportamentos medidos tem como base a análise de Outliers, a Análise de Clusters e as Máquinas de Vetores de Suporte (SVM).

Na Fig. 5 ilustram-se os valores de um indicador de dano específico para diferentes passagens de comboios de mercadorias sobre um troço de via instrumentado onde facilmente se distinguem as passagens associadas a comboios com rodados defeituosos (representadas a cores azul, amarela e vermelha) e com rodados não defeituosos (representadas a preto).

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio de todos os investigadores envolvidos nos projetos INSPECDRONE, FCT Portugal-Polónia e WAY4Saferail e pertencentes às seguintes instituições de ensino, unidades de investigação ou empresas, nomeadamente: Evoleo Technologies, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, CONSTRUCT-FEUP, GECAD-ISEP, Multiprojectus, Warsaw University of Technology, Road and Bridge Research Institute e Infraestruturas de Portugal. Os autores gostariam ainda de agradecer às empresas e organismos financiadores, em particular à Multiprojectus, Fundação para a Ciência e a Tecnologia, Polish National Agency for Academic Exchange e Agência da Inovação. ■

Digitalização do processo de medições e orçamentos

Paula Assis e Ricardo Figueira | Top Informática, Lda. Braga

Introdução

Entre as principais vantagens de trabalhar em BIM, certamente se encontra a praticidade e a precisão da digitalização do processo de medições e orçamentos. Correlacionar a informação contida nos elementos do modelo geométrico (IFC) com bases de dados de unidades de obra, para obtenção do custo económico, é um dos objetivos da utilização do uso BIM “extração de quantidades”. Se ao mesmo tempo for possível quantificar parâmetros associados, como indicadores ambientais e de gestão de resíduos e ainda gerar documentos como especificações técnicas, o manual de utilização e manutenção do edifício e custos de manutenção decenal, caminha-se no sentido da utilização plena deste uso BIM. A digitalização do processo permite não só rapidez na sua execução, mas também, e muito especialmente, fiabilidade nos resultados dado que o erro humano é reduzido.

Digitalização do processo

A CYPE integra um conjunto de aplicações para digitalização do processo de medições e orçamentos entre as quais o Open BIM Quantities e a base de dados Gerador de Preços CYPE. Através destas aplicações é estabelecido um fluxo de trabalho com a finalidade de extrair quantidades do projeto. O Open BIM Quantities é capaz de ler as propriedades e quantidades contidas em cada uma das entidades do modelo digital do edifício, o utilizador pode estabelecer o critério de medição que considere adequado, com o objetivo de transformar os dados dos elementos BIM em unidades de obra. Esse critério consiste numa série

de regras inteligentes que permitem o filtro dos elementos com base nas suas propriedades, bem como identificar as quantidades a extrair. As unidades de obra podem então ser ligadas a recursos de um banco de preços. É aqui que o Gerador de Preços CYPE representa um papel relevante, uma vez que fornece fichas de custo, especificações técnicas para o caderno de encargos, instruções de utilização e manutenção, custos de manutenção decenal, resíduos gerados e indicadores ambientais [1].

Caso de estudo

Foi realizado um caso de estudo [2] com o objetivo de demonstrar o fluxo de trabalho do processo. O projeto foi concebido a partir do pequeno edifício de habitação, de rés do chão, primeiro andar e cobertura, designado por “Cube House”, de Simon Ungers [3]. Para a realização do projeto foram utilizadas várias aplicações do software CYPE, tanto para arquitetura como para as especialidades do projeto de engenharia. A partir do modelo de cada especialidade, obtido na primeira etapa do projeto, foi estabelecido o fluxo descrito no ponto 2, extraídas as quantidades e obtidos os parâmetros e documentos associados. Na etapa seguinte do projeto, verificou-se a necessidade de diminuir a altura das vigas do contorno exterior, devido à colisão das condutas de ventilação com as vigas, provocada pelas suas dimensões. Esta alteração teve como consequência modificações nos projetos de AVAC e térmica e, consequentemente, no projeto de arquitetura, nomeadamente na envolvente exterior. Uma vez que na primeira etapa foi

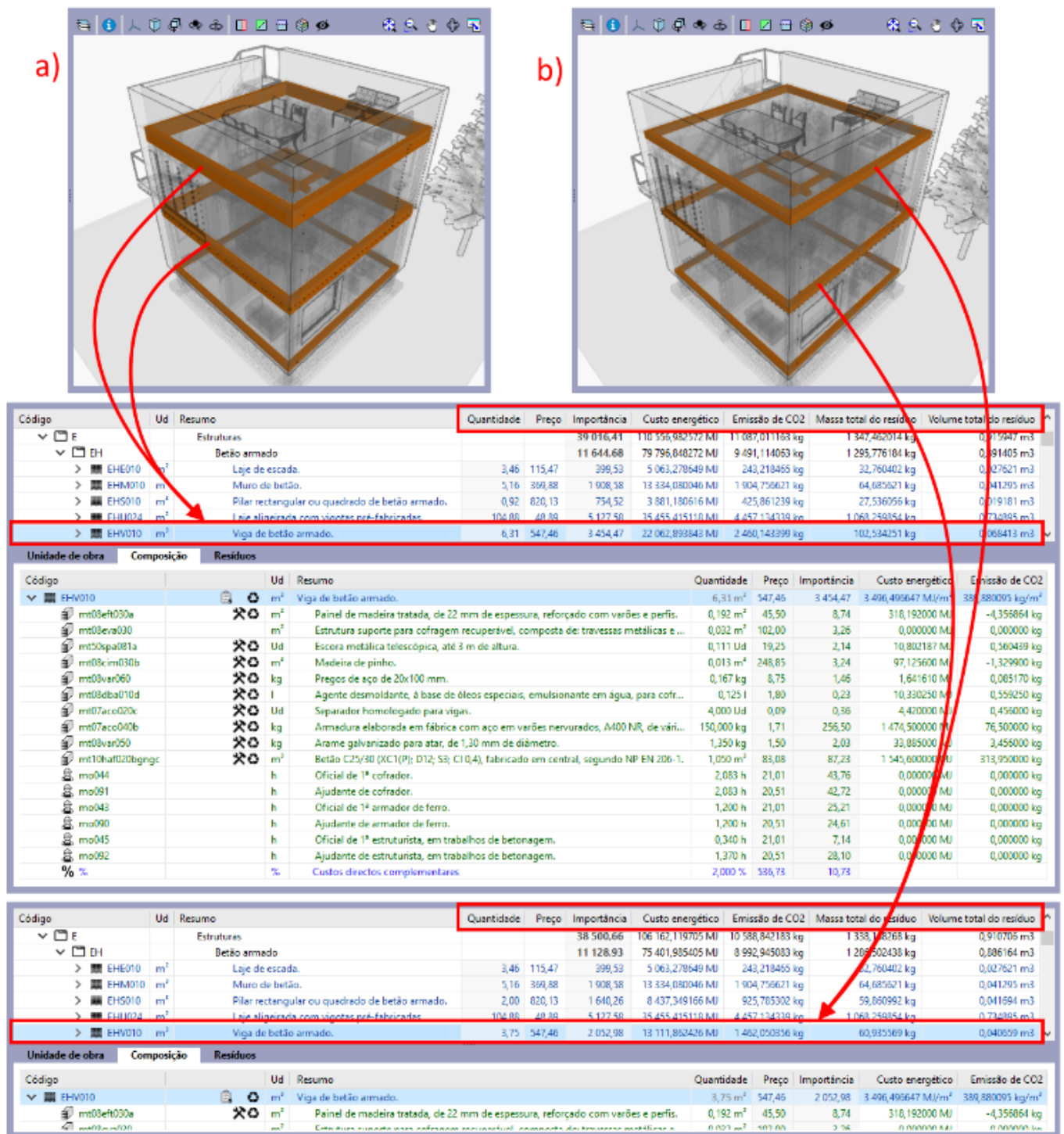


Figura 1 – Quantidades e parâmetros associados, a) primeira etapa, b) segunda etapa.

estabelecido o processo de extração de quantidades, bem como o critério de medição; na segunda etapa a partir da sincronização dos modelos alterados, obteve-se automaticamente a informação atualizada.

A Figura 1 apresenta, para as vigas de contorno exterior, referidas anteriormente, um exemplo de resultados onde é possível observar as quantidades e

os parâmetros associados, como a ficha de custo, resíduos gerados e indicadores ambientais, relativos às duas etapas.

Conclusões

O caso de estudo permitiu demonstrar o fluxo concebido para a digitalização do processo de

medições e orçamentos, através das ferramentas Open BIM Quantities e Gerador de Preços CYPE. Foi ainda possível comprovar a sua praticidade e rapidez de execução, nomeadamente através da alteração efetuada ao projeto, cujo processo de extração de novas quantidades e documentação, proporcionou os valores atualizados de forma totalmente automática. ■

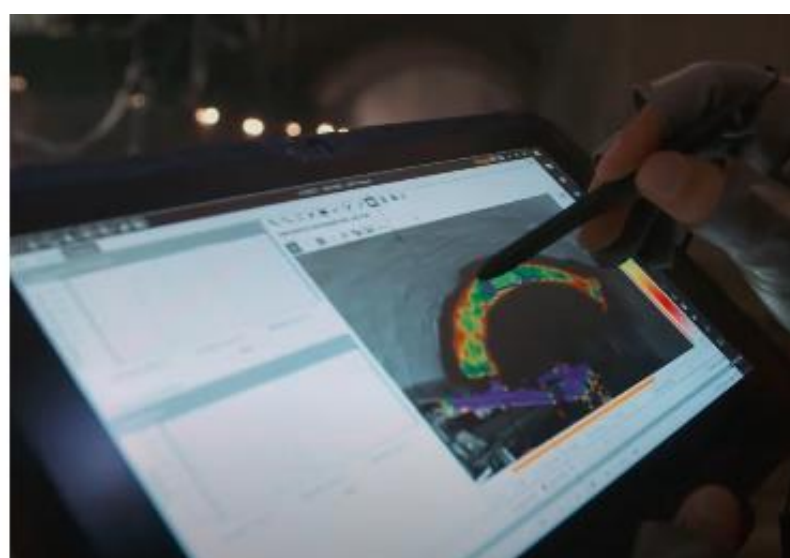
Referências

[1] P. Assis and R. Figueira, "DECIVIL - ABRIL 2022" [Online]. Porto, Portugal: Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2022. [Consult. 15 Jun. 2022]. Disponível em

https://publicacoes.isep.ipp.pt/uploads/decivil/DECivil_2022_abril.pdf

[2] P. Assis, R. Figueira, P. Oliveira and C. Costa, "Conceção de software de arquitetura, implementação e contributo para o fluxo de trabalho Open Bim", in 4º Congresso Português de Building Information Modelling, Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2022, pp. 50-61.

[3] "Cube House" [Online]. Espanha: Arquitectura Viva, 2021. [Consult. 30 Nov. 2021]. Disponível em <https://arquitecturaviva.com/works/casa-cubo-ithaca>.



Otimização e automatização de processos na indústria da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC)

João Teixeira | DiRoots

Introdução

Na era digital em que vivemos, o uso de software representa uma parte substancial do tempo e dos recursos despendidos em cada projeto. A digitalização da indústria da Arquitectura, Engenharia e Construção (AEC) acontece a um ritmo exponencial e cada vez mais tecnologia digital se funde com o mundo físico. Deste modo, a capacidade de rápida adaptabilidade às tecnologias digitais irá definir as empresas que irão prosperar nas próximas décadas. A digitalização do setor da AEC tem criado novas oportunidades para inovar e automatizar processos que tradicionalmente requeriam longas horas de trabalho manual e repetitivo. Sem investimento na otimização e automatização de processos, as empresas não terão capacidade para competir em termos de custos, eficácia e qualidade. O setor da AEC está repleto de desafios complexos que podem ser solucionados através da tecnologia, nomeadamente de soluções de software personalizadas. Neste artigo, através de exemplos práticos e reais, vamos explorar neste artigo algumas das principais vantagens de investir na otimização e automatização de processos.

Quatro razões para investir em soluções digitais personalizadas

▪ Aumentar a eficiência

Entre os benefícios mais proeminentes de investir em software personalizado está o aumento significativo da produtividade. Ao automatizar fluxos de trabalho manuais, complicados, repetitivos, demorados e propensos a erros, as empresas podem entregar os seus produtos/serviços mais rapidamente, com mais qualidade e previsibilidade. Do ponto de vista da gestão de projetos, sendo os processos automatizados previsíveis, as estimativas de tempo e materiais são mais precisas levando a otimizar o tempo que levará para concluir um conjunto de tarefas. Por exemplo, a PPE, uma empresa de engenharia estrutural, investiu na automatização de uma das tarefas mais demoradas e monótonas – o fluxo de trabalho de pormenorização de armaduras. A DiRoots desenvolveu um suplemento personalizado do Revit capaz de realizar essa tarefa a uma velocidade cerca de 90% mais rápida. Esta solução digital, automatiza a criação de vistas de secção, pormenorização de armaduras (incluindo anotações e dimensionamentos) e posterior criação de desenhos.

▪ Escalar e crescer com custos baixos

É expectável que as empresas cresçam nos próximos anos, situação que exigirá processos de negócios mais

complexos e equipas de maior dimensão. Muitas vezes o software que está disponível no mercado (software chave na mão) não se adapta à complexidade dos processos de negócios e, devido ao grande número de licenças necessárias à medida que as equipas crescem, pode tornar-se extremamente dispendioso. Neste contexto, o software personalizado, contrariamente ao chave-na-mão pode ser facilmente ajustado para se dimensionar e adaptar aos processos internos e, como a empresa é dona da solução, não precisa de adquirir mais licenças para os novos membros da equipa. A DiRoots trabalhou recentemente com a Binsky para desenvolver uma solução personalizada que suportasse a redução de custos e a otimização de processos internos. A Binsky estava a usar software comercial para otimizar suas tarefas, uma abordagem que não só se estava a tornar cada vez mais dispendiosa devido à necessidade de adquirir mais licenças, mas também não era suficientemente satisfatória em termos de resultados. Sendo a Binsky uma empresa com visão de futuro, decidiu que era o momento certo para investir numa solução que realmente funcionasse para as suas necessidades de negócios, fosse escalável e facilmente extensível para atender a requisitos futuros. A solução personalizada que a DiRoots desenvolveu, permitiu-lhes obter uma solução mais eficiente e adequada as suas necessidades e um retorno total do investimento inicial em alguns meses.

▪ **Para integrar com baixo custo**

Cada empresa opera segundo os seus próprios processos, fluxos de trabalho e aplicações digitais. O software comercial (chave-na-mão) muitas vezes não se encaixa nessa receita, forçando as organizações a adaptarem-se à solução em vez de ser a solução a adaptar-se as necessidades únicas da organização. Adaptar os fluxos de trabalho a um software comercial traz custos extras que muitas vezes não são

considerados. O software personalizado contorna esses desafios porque integra perfeitamente os fluxos de trabalho internos e adapta-se as aplicações que já são usadas pela equipa. Por outras palavras, é a tecnologia que se adapta à organização, em vez da organização que adapta à tecnologia existente.

▪ **Aumentar lucros e permanecer competitivo**

Depois de considerar todos os benefícios que uma solução de software customizada pode trazer para as empresas, aumentar a produtividade acaba por se tornar uma consequência natural. Investir na automatização de processos, eliminar tarefas repetitivas e demoradas e entregar melhor e mais rápido aos clientes é fundamental para que as empresas se mantenham à frente da concorrência na economia digital em que vivemos hoje. Para a Tecomat, uma empresa de engenharia, a tarefa mais demorada e repetitiva era a modelação de elementos de alvenaria. Devido à quantidade de mão de obra necessária para realizar esta tarefa da forma tradicional, a Tecomat esforçou-se para se manter competitiva. Colocar tijolo por tijolo e encaixá-los nas paredes era uma tarefa ineficiente e propensa a erros, pelo que a Tecomat percebeu rapidamente que precisava ser totalmente automatizada. A redução dos custos de produção, o aumento de eficiência e ganhos de qualidade foram os objetivos que levaram a Tecomat a optar por uma solução digital customizada. Neste sentido, a DiRoots desenvolveu um plugin para automatizar a modelação de alvenarias no Revit. Este plugin implementa um algoritmo que determina a forma mais eficiente de colocar os tijolos. Anteriormente a modelação da alvenaria passava pela introdução no modelo de tijolo por tijolo, agora o plugin automatizou todo o processo, permitindo à Tecomat efetuar o trabalho 90% mais rápido e com uma taxa de erro praticamente nulas. ■

Uso da tecnologia a laser

para o monitoramento de convergência, controle de qualidade e garantia de qualidade da espessura do concreto projetado e controle do projeto vs construção em túneis civis

Javier Puig | Vice-presidente da GroundProbe Europa

Albert Cabrejo | Líder de Prática Global, Consultoria Geotécnica, GroundProbe America do Norte

Resumo

A construção de um túnel obedece a um processo contínuo que envolve projeto, construção, verificação e correção. Tal metodologia requer um acompanhamento contínuo da forma construída em relação ao projeto. O uso das tecnologias LiDAR, que apresentam uma elevada capacidade de processamento de dados, permite que as equipes de construção possam melhorar a segurança, qualidade do processo de construção e os custos.

A construção e manutenção de infraestruturas encontra-se cada vez mais exposta à influência de situações imprevistas (deslizamentos, precipitação excessiva, abalos sísmicos etc.). Portanto, é esperado um aumento da necessidade de tecnologias para monitoramento que possibilitem a realização de operações de reabilitação de infraestruturas com segurança e direcionamento. Crescente será a demanda por tais equipamentos no que compete à precisão, geração de dados e capacidade de análise em tempo real.

A demanda por túneis, por sua vez, está aumentando, bem como as exigências de seus proprietários com relação à segurança, controle de custos, emissão de carbono e adaptação aos parâmetros de qualidade. Isso gera uma maior demanda por tecnologias que auxiliem a construtora no controle em tempo real do ciclo de construção do túnel.

Descrição da tecnologia

Tecnologia LiDAR

A sigla LIDAR, do original em inglês, significa "*Light Detection and Ranging*", e pode ser interpretada como um sistema de detecção e aferição de objetos por laser. As estações totais manuais e robótica, bem como os *scanners*, utilizam pulsos de laser para mapear os objetos a seu alcance. O GML é uma tecnologia de varredura LiDAR que cria mapas da deformação de paredes rochosas em túneis a partir da geração de nuvens com milhões pontos com processamento em tempo quase real, fornecendo a seus usuários gráficos e mapas do deslocamento nas paredes rochosas de projetos civis e da mineração. Graças a essa combinação de tecnologias, é possível aferir o deslocamento em toda a superfície rochosa, em 360° na direção horizontal e 270° na direção vertical (semicúpula) a cada 5-10 minutos.

Os usos do GML

- **Convergência**

O GML foi inicialmente desenvolvido para medição de convergências de maciços rochosos em minas subterrâneas. O GML (ver Figuras 1 e 2) se enquadra em um nicho específico, a saber: medição de convergências com alta precisão submilimétrica em tempo quase real. Outros lasers no mercado apresentam uma precisão que, na melhor das hipóteses, chega a aproximadamente 6 mm, e seu



Figura 1 – GML instalado sobre suporte para monitorio contínuo.



Figura 2 – GML sobre tripode para monitorio periódico.

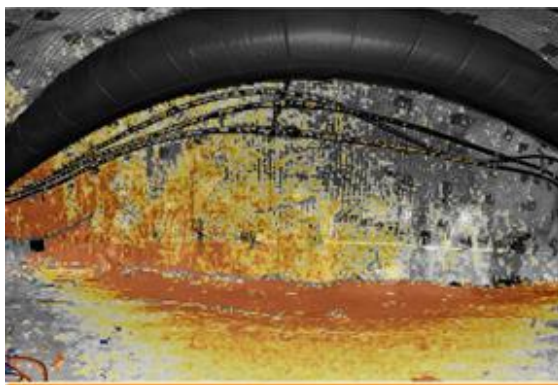
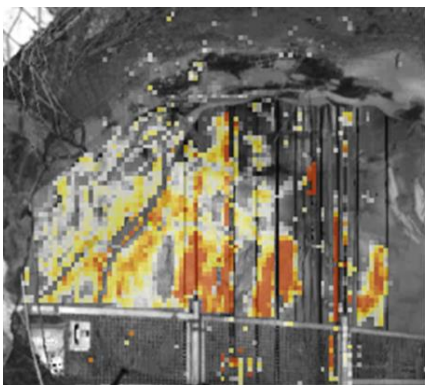


Figura 3 – Mapas de deformação.

processamento não é direto nem se dá em tempo real, com resultados normalmente processados horas após serem obtidos. Trata-se de uma aplicação muito específica, desenvolvida para áreas onde existe ameaça devido à deformação do maciço rochoso, fazendo-se necessários estudos mais detalhados do que aqueles que podem ser obtidos com instrumentação habitual, tais como extensômetros, fissurômetros, prismas ou scanners convencionais. O GML é uma ferramenta adicional que agrega ao pacote do engenheiro geotécnico.

O sistema gera mapas de deslocamento como os mostrados na Figura 3, onde a intensidade das cores quentes representa os movimentos do maciço rochoso em relação ao GML.

Usando os mapas de deslocamento em conjunto com gráficos afins, os engenheiros geomecânicos podem

tomar decisões operacionais e para segurança.

- **Controle de alinhamento e seções transversais de um túnel**

O GML também ajuda a exercer o controle sobre a escavação e o progresso dos túneis na construção civil por meio da comparação entre o projeto e as varreduras pós-escavação (ver Figura 4). Os resultados são aprimorados onde as cores representam um desvio do que foi construído em relação ao que foi projetado. Esses mapas são obtidos diretamente em campo em questão de minutos.

- **Controle da espessura do concreto projetado**

A terceira utilidade do GML encontra-se na medição da espessura do concreto projetado diretamente em campo. Inicialmente, é realizada uma varredura na área que receberá a aplicação do concreto projetado. Em seguida, é aplicada a primeira camada de

concreto, sendo realizada outra varredura. O GML então faz a comparação entre as varreduras para determinar as espessuras, indicando ao construtor as áreas que necessitam de mais concreto, onde está suficiente, ou mesmo onde se aplicou concreto demais – tudo isso também em tempo quase real, diretamente no canteiro de obras.

Casos de estudo

Caso da Colômbia: Hidroituango

A hidrelétrica de Ituango, conhecida como Hidroituango, é um projeto colombiano que visa gerar eletricidade através do represamento e uso das águas do rio Cauca, no oeste da Colômbia. O projeto vai gerar mais de 16% da energia necessária no país. A barragem tem 225 metros de altura e se estende por 70 km rio acima.

A Figura 5 mostra a barragem, o Rio Cauca represado à direita e a descarga de água abaixo. Na extrema direita da fotografia, é possível ver o deslizamento de terra que bloqueou a entrada dos túneis de desvio, projetados para que o rio pudesse fluir dentro da montanha. O desabamento provocou instabilidades no maciço rochoso e colocou em risco a estabilidade da barragem, cujo aterro ainda não estava finalizado. Os

túneis internos para acesso de veículos ao projeto e as casas de máquinas foram afetados pela instabilidade. A Figura 6 mostra o tipo de dano habitual às paredes dos túneis de acesso, casa de máquinas e túneis de desvio. Observa-se como o concreto projetado foi destruído pela movimentação do maciço rochoso e pelo arrasto da água sob pressão.

Inicialmente, duas equipes do GML foram levadas ao projeto para monitorar as deformações nos túneis de acesso durante as obras de reabilitação. As tarefas de instalação de arcos de aço, chumbadores, cabos e concreto projetado foram supervisionadas com auxílio do GML, que fornecia mapas e gráficos da deformação nos setores onde os operários trabalhavam.

Engenheiros especializados no uso e interpretação de dados do GML prestaram suporte contínuo a esse trabalho, garantindo a segurança dos operários diante da eventualidade de qualquer possível deformação rápida que pudesse resultar na falha de materiais e ferimentos a alguma pessoa. Posteriormente, três equipes adicionais do GML foram levadas para oferecer suporte à recuperação de outros setores. A Figura 7 ilustra um estágio avançado do processo de recuperação da casa de máquinas, quando a contingência estava relativamente controlada.



Figura 4 – Projeção de uma nuvem de pontos processada pelo GML.



Figura 5 – Hidroelétrica de Ituango: vista aérea.



Figura 6 – Hidroelétrica de Ituango: vista do interior.



Figura 7 – Hidroelétrica de Ituango: vista do interior durante o processo de recuperação.

Caso da Noruega

Este caso tem como enfoque a aplicação da tecnologia LiDAR em um túnel ferroviário construído com base no novo método austríaco. Tal sistema de construção se baseia no controle do túnel e dos elementos de

sustentação provisórios desde o princípio. O próprio maciço contribui para sua sustentação. Isso resulta numa menor necessidade de elementos de sustentação, promovendo economia nos custos da construção, visto que intensifica as necessidades de monitoramento. O teste se deu no projeto Skogertunnelen

(<https://tunnellingjournal.com/veidekke-awarded-norways-skogertunnelen-contract/>)

No decorrer dos dias de teste da tecnologia, comprovaram-se as seguintes capacidades do scanner e do software que o acompanha:

1 - Capacidade do GML de importar o projeto do túnel para sobrepô-lo ao desenho resultante da varredura da seção construída e assim identificar, em tempo

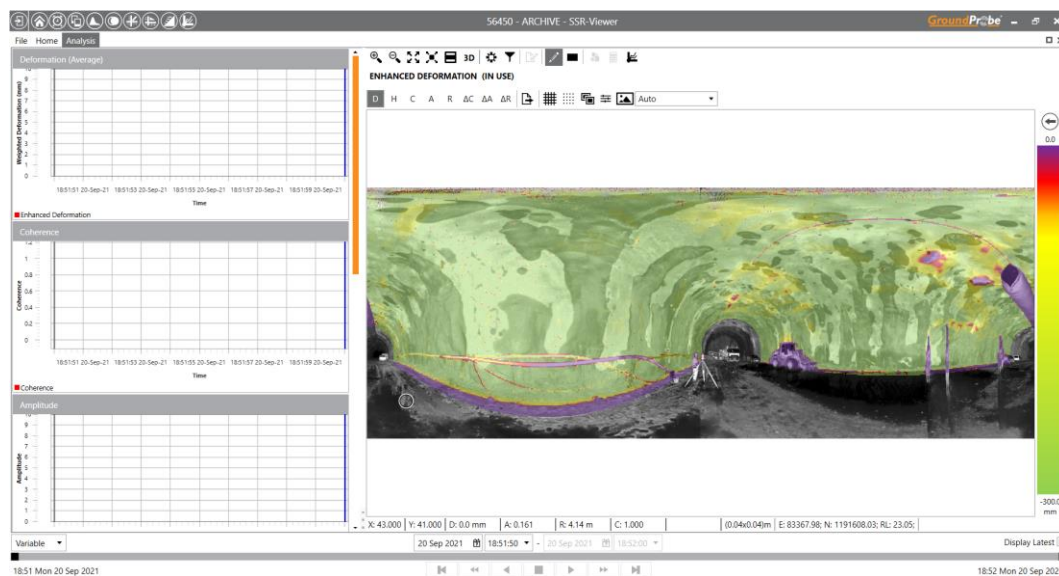


Figura 8 – Seção 56450 do túnel Skogertunnelen.

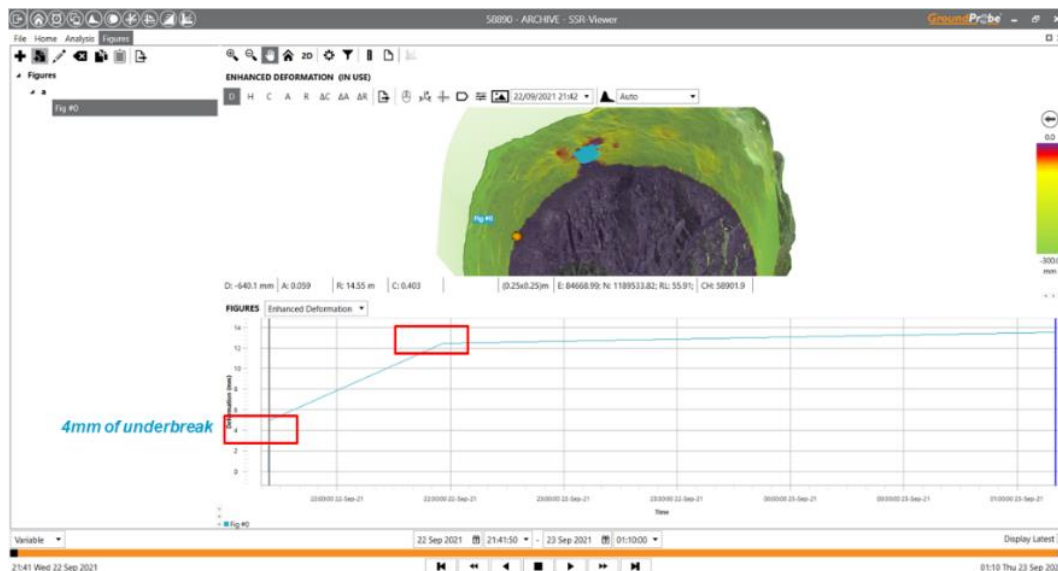


Figura 9 – Seção 58890 do túnel Skogertunnelen.

real, as áreas onde a forma construída do túnel não se alinha ao projeto.

Em um dos testes (ver Figura 8) se comprovou que o GML permite a comparação em tempo real do projeto com a forma escavada após a aplicação de uma camada de concreto projetado para controlar se a seção construída atende aos parâmetros de qualidade exigidos, deixando espaço para a aplicação das camadas seguintes.

Em outro caso (ver Figura 9), após uma varredura inicial antes da aplicação do concreto projetado, foi possível comparar em tempo real o projeto com a face escavada antes da aplicação do concreto projetado.

Isso permitiu identificar uma área onde a forma escavada não correspondia à forma do projeto (presença de subescavação).

Neste caso, foi possível decidir, ali mesmo, aplicar uma quantidade mínima de concreto projetado na área crítica, tendo em vista a correção do defeito.

2- Capacidade de orientar a equipe responsável pelo concreto projetado, em tempo real, sobre a espessura aplicada.

O scanner foi usado para medir a espessura de uma primeira camada de concreto projetado. O software foi ajustado para analisar se a espessura do concreto

projetado estava alinhada com o objetivo de aplicação de 60 mm de espessura (Ver Figura 10). Após a segunda varredura, concluiu-se que a quantidade aplicada de concreto projetado era suficiente para aquela área, estando apenas uma seção com espessura acima do desejado.

Com base nos valores obtidos, a equipe de controle de construção do túnel pôde tomar a decisão in loco de enviar o caminhão com excesso de concreto para outra área do túnel, gerando economia no consumo de concreto projetado.

Conclusões

Após a aplicação da tecnologia LIDAR em túneis e na infraestrutura civil, pode-se concluir a existência de benefícios diretamente alcançáveis para os construtores de infraestruturas mediante uso dessa mesma tecnologia. Tais benefícios podem ser resumidos em:

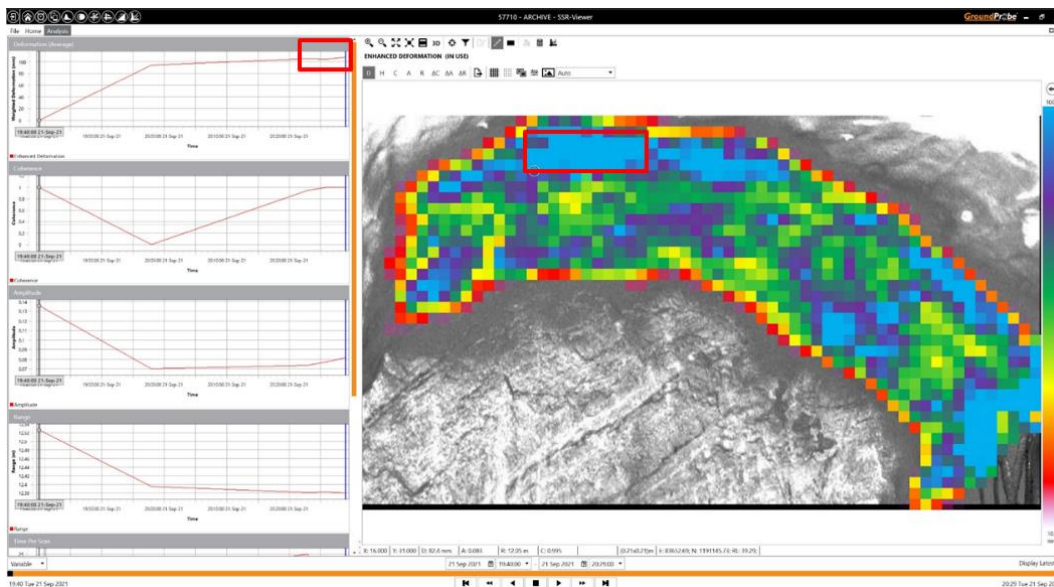


Figura 10 – Secção 57010 do túnel Skogertunnelen.

- Melhora da segurança nas atividades de construção, reabilitação e manutenção. Tendo em vista que a segurança é a maior prioridade para um construtor, é de imenso valor ter um sistema de monitoramento que informe às equipes de produção sobre a movimentação existente, identificando com precisão e em tempo real áreas de risco para a segurança.

- Melhora na capacidade de estabelecer prioridades: Um instrumento preciso que fornece dados e é capaz de conduzir análises em tempo real agrega valor para estabelecimento de prioridades nas obras de reabilitação, informando sobre movimentos e condições das áreas do túnel a serem reabilitadas. Isso permite uma melhor gestão de riscos e uma maior capacidade de definir estratégias para reforço dos maciços rochosos, bem como aferição de sua eficácia.

Benefícios econômicos diretos no consumo de concreto projetado: A aferição em tempo real da espessura do

concreto projetado em relação à forma escavada permite orientar o operador e racionalizar o consumo de material, assegurando a espessura necessária. Em obras de construção de túneis nas minas, foi possível alcançar uma redução de até 33% na quantidade de concreto projetado após o uso contínuo do GML para orientação dos operadores (https://shotcrete.org/wp-content/uploads/2020/08/ASA_-_Real-Time_In-Situ_Article.pdf).

- Benefícios econômicos indiretos na redução do retrabalho: A capacidade de comparar a forma escavada e construída com o projeto do túnel permite que as equipes de construção economizem tempo e recursos com retrabalho, pois identificam precocemente as áreas em não conformidade com os parâmetros do projeto do túnel. ■

