

Projeto imersivo e novas competências digitais no contexto da reabilitação e valorização do património

<https://doi.org/10.21814/uminho.ed.164.51>

José Santos¹, Patrícia Escórcio²

¹ *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia, Departamento de Engenharia e Geologia. CONSTRUCT-LABEST, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto. ORCID: 0000-0002-8134-0925. Email: jmmns@fe.up.pt*

² *Universidade da Madeira, Faculdade de Ciências Exatas e Engenharia, Departamento de Engenharia e Geologia. ORCID: 0000-0002-0038-162X*

Resumo

O uso de ferramentas imersivas no setor AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção, Operação) tem vindo a crescer à medida que são disponibilizadas novas ferramentas (software e hardware) a custo competitivo. Estas ferramentas apresentam potencialidades para o projeto, construção, reabilitação, manutenção, operação de edifícios, assim como permitir a criação de novos produtos, como visitas virtuais ou reconstruções históricas virtuais. Contudo, um dos problemas atuais prende-se com a falta de formação dos profissionais nesta temática. Deste modo, neste artigo, apresentam-se os quatro resultados do projeto ID4Ex, que teve como principal objetivo (terceiro resultado) a criação de um curso de formação gratuito na temática do projeto imersivo e novas competências digitais no contexto da reabilitação e valorização do património. O curso é composto por sete módulos, quatro de cariz mais tecnológico e três módulos de cariz mais transversal.

1. Introdução

O desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas tem levado a que cada vez mais tarefas diárias sejam realizadas num ambiente digital. O impacto tem sido tal, que atualmente estamos a experienciar uma nova revolução industrial, conhecida como Indústria 4.0 [1].

Também no setor AECO, embora de forma desigual entre países e entre parceiros dentro do mesmo país, a digitalização tem provocado alterações relevantes na forma de trabalhar dos seus profissionais. Algumas das tecnologias mais usadas no setor AECO são: veículos aéreos não tripulados, manufatura aditiva, aprendizagem de máquina, robotização, internet das coisas, realidade virtual, inteligência artificial, sistemas de informação geográfica, análise de dados e a modelação da informação na construção (BIM), entre outras. Dada a grande oferta de tecnologias digitais no setor AECO, tem sido adotado o conceito de Construção 4.0 para se referir a esta nova era. Para que algumas destas tecnologias possam funcionar outras mais transversais têm de existir, como: dispositivos móveis, assinaturas digitais, sistemas de gestão de documentos, sistemas de posicionamento global, redes sem fios, deteção remota (ex: LiDAR), computação em nuvem, etc. [2, 3].

Algumas das tecnologias referidas anteriormente são consideradas imersivas, isto é, emulam o mundo físico criando a sensação de presença no local (imersão), o que possibilita uma análise muito mais realista. Apesar do conceito já existir desde meados do século passado, onde diversas tecnologias para este fim foram exploradas, só com o enorme desenvolvimento da indústria dos videojogos nas últimas décadas, a mesma ficou facilmente acessível a todos e numa escala reduzida, em comparação com uma sala de cinema, por exemplo. No setor AECO, diversas análises têm sido publicadas acerca do uso destas tecnologias, apontando desafios [4], limitações, necessidades [5] e riscos de implementação [6].

Embora não exclusivo, as principais tecnologias imersivas usadas no contexto do setor AECO têm sido a Realidade Virtual (RV) [7], a Realidade Aumentada (RA) [8], a Realidade Mista (RM), todas quase sempre apoiadas em modelos BIM (que por sua vez, no caso de património existente, são frequentemente obtidos com apoio da deteção remota), assim como a telepresença e os gémeos digitais. Recentemente, as três primeiras foram agrupadas na Realidade Estendida [9]. Até ao momento, as atividades do setor AECO com maior aplicação de tecnologias imersivas têm sido: a formação [10], reuniões / revisão de projeto / obra [11], reuniões online, planeamento da construção [12], segurança na construção [13], simulação de desastres (incêndio [14], sismos [15], etc.), reconstrução / preservação virtual [16], visitas virtuais [17], operação e manutenção de edifícios / infraestruturas [18], planeamento urbano [19], criação de vídeos promocionais e produção de videojogos.

Por outro lado, nos países desenvolvidos, uma parte relevante da atividade do setor AECO tem sido na reabilitação do património (edifícios e infraestruturas) existente, seja por iniciativa particular ou por imposição política (ex: *Renovation Wave* e

NextGenerationUE), seja para melhoria do desempenho [20] ou para valorização cultural [21].

Neste tipo de projeto / obra há particularidades adicionais a ter em conta, comparando com uma obra nova, como sejam: o facto de o património já existir, a geometria ser frequentemente complexa, o estado de conservação ser muitas vezes mau, podem existir elementos com valor patrimonial / arquitetónico / cultural que têm de ser preservados, e as técnicas construtivas e os materiais utilizados na sua construção já não se utilizarem atualmente. Note-se que estas particularidades condicionam bastante as opções de projeto e a realização da obra.

Neste contexto, o uso de tecnologias imersivas pode contribuir para a diminuição de algumas das dificuldades acima referidas, sendo por isso ferramentas cada vez mais fundamentais em cenários de projeto / obra de reabilitação do património existente.

No entanto, note-se que no setor AECO a utilização das ferramentas imersivas anteriormente referidas está ainda longe de ser uma prática comum no dia a dia. Não só por serem ainda relativamente recentes, mas também e sobretudo por a maioria dos profissionais do setor não ter formação adequada para a sua utilização plena. Numa outra perspetiva, como as ferramentas digitais têm transformado a forma de trabalhar dos profissionais do setor AECO importa também qualificá-los para esta nova realidade.

De forma a contribuir para a formação dos profissionais do setor AECO em tecnologias imersivas no contexto da reabilitação e valorização do património foi realizado um projeto Erasmus+ designado de ID4Ex - *Immersive Design and New Digital Competences for the Rehabilitation and Valorization of the Built Heritage*, cujo principal resultado foi a criação de um curso de formação gratuito nesta temática. Assim, neste artigo são descritas as componentes principais (objetivos, parceria, resultados e divulgação) deste projeto, com especial destaque e análise crítica dos seus resultados.

2. Descrição do Projeto ID4Ex

O projeto ID4Ex, sendo um projeto Erasmus+ do tipo KA220 (Parcerias Estratégicas no Ensino Superior) cofinanciado pela União Europeia, envolveu primeiramente parceiros europeus do Ensino Superior, nomeadamente universidades, complementado com outros parceiros. Assim, o consórcio incluiu oito parceiros: quatro universidades (duas de Engenharia Civil e duas de Arquitetura), duas associações de profissionais / especialistas em edifícios, uma escola técnica profissional e uma empresa tecnológica. A nível geográfico, os parceiros estão distribuídos por cinco países diferentes: Irlanda, Itália, Polónia, Portugal e Turquia. O líder do projeto foi a Faculdade de Engenharia Civil da Universidade de Tecnologia de Varsóvia.

O objetivo geral do projeto consistiu em contribuir para a digitalização e a modernização do setor da construção através da atualização de competências e através de uma abordagem inclusiva à intervenção no património construído, utilizando novas

tecnologias digitais, nomeadamente realidade virtual, experiência interativa imersiva e modelação 3D avançada. Relativamente ao público-alvo, são todos os profissionais (técnicos, arquitetos, engenheiros, docentes) do setor.

O projeto produziu quatro resultados, apresentados e discutidos na Secção 3, nomeadamente: i) estudo comparativo sobre aplicações de tecnologias imersivas para a reabilitação e valorização do património construído, ii) plano de curso de formação (em especialista em projeto imersivo), iii) curso de formação (composto por sete módulos), e iv) testes piloto do curso de formação. Todos estes resultados podem ser consultados no site do projeto: <https://id4ex.il.pw.edu.pl/>, estando o ii) e o iii) disponíveis em português. No final do projeto decorreram diversos eventos de divulgação dos resultados.

O projeto decorreu durante 26 meses, terminando em dezembro de 2023. Ao longo deste período, a metodologia de trabalho coletiva consistiu em reuniões presenciais onde as principais decisões e resultados individuais e coletivos eram discutidos, complementado com diversa formação inter pares, seguindo-se posteriormente reuniões mensais online de acompanhamento e monitorização. Ao longo deste período, os resultados do projeto foram anualmente avaliados por grupos de peritos de cada país, sendo cada grupo composto por pelo menos 10 profissionais (académicos e não académicos).

3. Resultados do Projeto ID4Ex

3.1. Estudo comparativo sobre aplicações de tecnologias imersivas

O primeiro resultado do projeto teve como função retirar informações relevantes para a elaboração dos segundo e terceiro resultados (Secções 3.2 e 3.3). Assim, utilizando 19 casos de estudo onde foram utilizadas tecnologias imersivas na reabilitação do património, foram primeiramente identificadas: tecnologias aplicadas, metodologias de trabalho, atividades, objetivos e contexto das intervenções, questões de sustentabilidade, intervenientes envolvidos (número e competências), utilizadores finais, análise SWOT, lições aprendidas, entre outras. Posteriormente, tendo em mente o segundo resultado, estas informações foram compiladas e analisadas de modo a identificarem-se as principais tecnologias imersivas utilizadas e as competências dos profissionais envolvidos.

Quanto às tecnologias verificou-se uma grande diversidade (40) de software e hardware utilizado, sendo que a maioria não é imersiva, mas contribui para que algures no processo de trabalho seja criado ou utilizado algo puramente imersivo. Relativamente às competências (Tabela 1), também em número elevado (25), estas foram divididas em: digitais (inovação e técnicas), transversais (analíticas, gestão e interpessoais) e verdes (sustentabilidade).

Tabela 1: Competências necessárias para os profissionais

	Categoria	Competências
Digitais	Inovação	<ul style="list-style-type: none"> – Pesquisa: atualização sobre a evolução da tecnologia e conceito – Pensamento criativo e imaginação
	Técnicas	<ul style="list-style-type: none"> – Competências de projeto – Competências de construção e reabilitação – Conhecimento sobre tecnologias imersivas, seu uso e impacto – Uso de software específico – Levantamento e medição avançados – Conhecimento do enquadramento legal – Análise do impacto da intervenção na comunidade e no contexto
Transversais	Analíticas	<ul style="list-style-type: none"> – Identificação de problemas, riscos e soluções – Análise de Contexto: Análise SWOT, Análise PESTEL – Resolução de problemas complexos
	Gestão	<ul style="list-style-type: none"> – Gestão de projetos e tempo – Tomada de decisão – Negociação – Coordenação e colaboração – Competências financeiras – Angariação de fundos
	Interpessoais	<ul style="list-style-type: none"> – Competências interpessoais: interação com colegas de trabalho, partes interessadas e beneficiários do projeto/intervenção – Competências de comunicação – Flexibilidade – Inteligência emocional, empatia, consciência cultural
Verdes	Sustentabilidade	<ul style="list-style-type: none"> – Métodos/materiais alternativos de construção: reutilização de materiais, independência energética – Técnicas de construção de baixo impacto – Projeto circular

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado pode-se referir que a metodologia de recolha da informação utilizada, baseada em casos reais, tem alguns benefícios, no entanto, como se limitou a apenas alguns casos de estudo em cada país do projeto, ficou com um âmbito muito reduzido, pelo que no futuro se aconselha o uso de uma metodologia mais próxima da que é realizada no estado da arte dos artigos científicos, com revisão sistemática da literatura. Quanto à informação recolhida, o inquérito original mostrou ser extenso, com demasiados campos, em que muitos deles acabaram por ser irrelevantes para o objetivo do projeto.

3.2. Plano de curso de formação

O segundo resultado do projeto consistiu na criação do plano de um curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património. Em função da informação recolhida no ponto anterior, o documento começa por introduzir o conceito de projeto imersivo, define o perfil e funções de um especialista em projeto imersivo, sugere uma metodologia preferencial para o ensino deste curso: aprendizagem mista (*blended learning*) e identifica os níveis do Quadro Europeu de Qualificações (QEF) que se pretende atingir.

Em seguida, o documento apresenta os sete módulos de formação do curso, sendo os primeiros quatro módulos de cariz mais tecnológico e os últimos três módulos de

cariz mais transversal (ver detalhe na Secção 3.3). À semelhança do que acontece com qualquer unidade curricular de um curso superior, foram definidos para cada módulo (Figura 1): área científica, público-alvo, descrição e objetivos gerais, objetivos de aprendizagem, conteúdos programáticos, tempo de formação, ferramentas utilizadas, metodologias pedagógicas, metodologias de avaliação, pré-requisitos e bibliografia.

Figura 1
Conteúdos do
Módulo M1.

Título	Tecnologias imersivas para construção, operação e manutenção em contexto de património		
Área Científica	Tecnologias digitais aplicadas à construção		
Público-alvo principal	Estudantes inscritos nos programas de Licenciatura, Mestrado e Doutoramento em Arquitetura, Design de Interiores, Engenharia Civil, Gestão da Construção, Restauro, Arqueologia e Património		
Descrição do módulo e objetivos gerais	Estud. de C. Cult.	3. Tecnologias imersivas para operação e manutenção do património a. Operação: introdução à IoT e RFID, introdução ao gêmeo digital, plataformas imersivas para operação do património (edifícios, equipamentos, pessoas, espaços, etc.), KPIs. b. Manutenção: introdução à gestão de instalações, introdução ao CMMS, plataformas imersivas para manutenção do património (tutoriais imersivos, assistência remota, etc.). 4. Trabalho Dirigido	
Tempo de formação / aprendizagem	Tempo de formação / aprendizagem	Te in	<ul style="list-style-type: none"> Analisar software e hardware imersivos a serem utilizados na construção. Ilustrar tarefas de manutenção com base em cenários imersivos. Competências: <ul style="list-style-type: none"> Adaptar as empresas (realizar formação, selecionar software e hardware) para o uso de tecnologias imersivas durante a construção, manutenção e operação do património. Avaliar o uso de tecnologias imersivas para construção, manutenção e operação do património.
Conteúdo do módulo	1. E 2. T a b c	Ferramentas necessárias para realizar o módulo (TIC, equipamentos, etc.) Objetivos de Aprendizagem (LO)	Métodos pedagógicos utilizados (autoestudo, trabalho em grupo, ensino à distância, etc.) Palestras frontais, Ensino à distância, Teleconferências, Trabalhos em grupo, Quadros interativos digitais, LMS de código aberto, Ambientes de projeto digital multutilizador on-line imersivos (IOMUDE) Avaliação formativa e sumativa A avaliação pode ser realizada medindo fatores que expressam o desempenho e a experiência do estudante em alcançar um LO. A avaliação pode ser realizada por meio de pesquisas online, questionários, avaliação do desempenho do estudante, avaliações de resultados, comentários escritos e orais durante e após o curso. Pré-requisitos M1 - Tecnologias e ferramentas imersivas M2 - Levantamento digital e protocolos de digitalização para BIM Correquisitos Nenhum Bibliografia <ul style="list-style-type: none"> Alcinia Zita, S. (2018). Enhancing BIM Methodology with VR Technology. In M. Nawaz (Ed.), State of the Art Virtual Reality and Augmented Reality Knowhow (pp. Ch. 5). IntechOpen. Alizadehsalehi, S., Hadavi, A., & Huang, J. C. (2020). From BIM to extended reality in AEC industry. Automation in Construction, 116, 103254. Cheng, J. C. P., Chen, K., & Chen, W. (2020). State-of-the-Art Review on Mixed Reality Applications in the AECO Industry. Journal of Construction Engineering and Management, 146(2), 03119009.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado pensa-se que o documento final está relativamente equilibrado, seja quanto ao tipo de informações necessárias para criar e certificar um curso, seja quanto à distribuição dos temas pelos vários módulos face aos objetivos deste projeto. O facto de prever alunos de nível EQF 5 a 8 traduz-se por um lado numa vantagem, por abranger o número máximo de pessoas, mas por outro lado, tem como consequência a criação de um curso (Secção 3.3) demasiado genérico, o que pode penalizar na qualidade do mesmo.

3.3. Curso de formação

O terceiro resultado do projeto compreendeu a elaboração de materiais didáticos para o curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património. Os materiais didáticos consistem em: apresentações, vídeos, exercícios, workshops de aplicação de tecnologias imersivas, tutoriais de software imersivo e casos de estudo.

Os sete módulos deste curso têm os seguintes conteúdos:

- M1 (Tecnologias e ferramentas imersivas) – inclui introdução à imersividade, história e desenvolvimento das ferramentas imersivas (ex: Figura 2), ferramentas imersivas (arquitetura, engenharia, colaborativas), exemplos de fotogrametria e varrimento a laser, hardware e software corrente, um workshop de fotogrametria (Figura 3) e um guia de uma ferramenta imersiva.

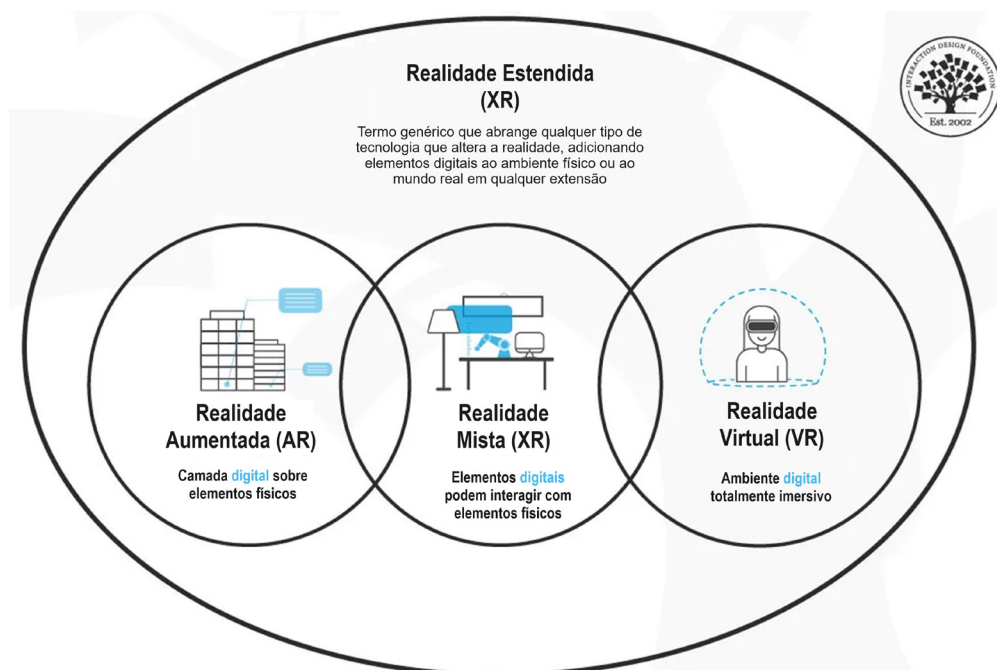
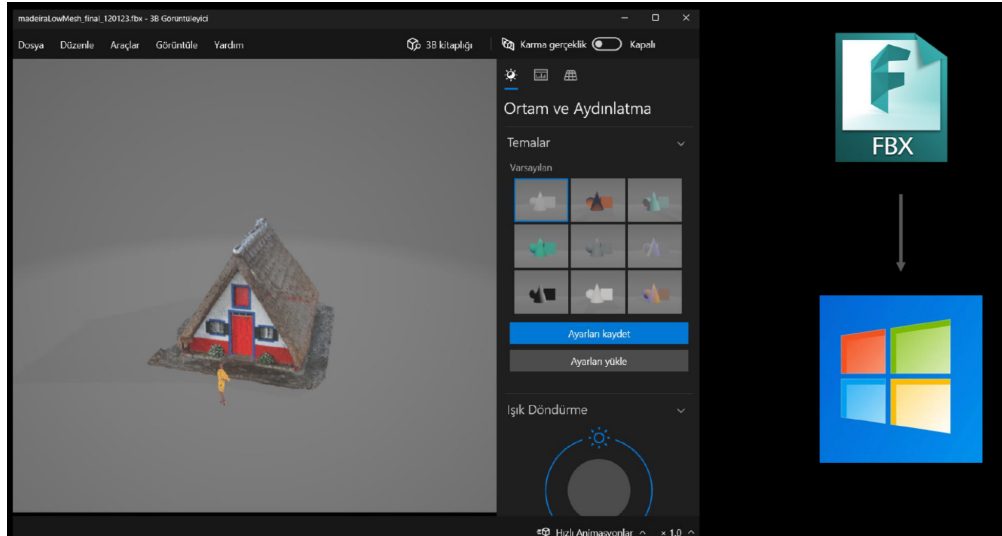


Figura 2
Slide sobre a realidade estendida.

- M2 (Levantamento digital e protocolos de digitalização para BIM) – inclui tecnologias e protocolos para levantamento direto e indireto do património, um workshop de levantamento de nuvem de pontos, veículos aéreos não tripulados e casos de estudo.
- M3 (Tecnologias imersivas para projeto em contexto de património) – inclui noções de restauro e arqueologia, desenvolvimento histórico do projeto imersivo, procedimentos e software (para Gravity Sketch, 3D Studio Max, Sketchup, Revit), um workshop de projeto colaborativo em ambiente VR, identificação de tarefas de projeto com potencial imersivo e benefícios de uso das ferramentas imersivas em projeto. No âmbito do módulo M3 foi ainda desenvolvida uma aplicação de realidade virtual que será alvo de apresentação separada noutro artigo deste congresso. Esta aplicação, que foi realizada em Unity 3D, lê ficheiros no formato IFC e permite: a visualização 3D, a consulta de informação e a edição básica dos elementos do modelo. Esta foi desenvolvida para apresentar como pode ser o trabalho em ambiente imersivo e expor algumas das vantagens/desvantagens e limitações/possibilidades.

Figura 3

Slide do workshop de fotogrametria.



- M4 (Tecnologias imersivas para construção, operação e manutenção em contexto de património) – inclui identificação de tarefas para as fases de construção e operação com potencial imersivo, benefícios de uso das ferramentas imersivas nestas fases, implementação em empresas, listagem de ferramentas e casos de estudo.
- M5 (Competências interpessoais para reabilitar património com sucesso usando ferramentas digitais) – inclui trabalho em equipa, colaboração digital, comunicação digital, gestão da colaboração, flexibilidade e adaptabilidade, tomada de decisão, desenvolvimento de negócio, inovação da gestão, comunicação em público, gestão da organização e gestão de tempo.
- M6 (Competências ecológicas e de sustentabilidade) – inclui economia circular (Figura 4), análise das emissões de carbono, métodos construtivos alternativos, reutilização e sustentabilidade económica.
- M7 (Competências de gestão e financeiras para proteção digital do património) – inclui competências financeiras, avaliação de investimentos, financiamentos para conservação do património, gestão de risco, coordenação de projetos e colaboração.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado nota-se que o curso abrange áreas muito distintas, de modo a poder satisfazer o objetivo do projeto (curso de formação para especialistas em projeto imersivo no contexto da reabilitação e valorização do património) e como tal teve de incluir tanto competências tecnológicas como transversais. Este facto teve como consequência que os recursos (humanos) disponíveis para módulo fossem menos. No entanto, os autores são da opinião que teria sido preferível produzir um curso apenas sobre as ferramentas imersivas, concentrando os recursos, de modo a focalizar o trabalho em menos conteúdos, mas produzindo conteúdos com um nível mais complexo. Outro fator relevante é que nos projetos Erasmus+ é muito difícil obter financiamento para adquirir tecnologia, o que neste projeto teria sido fundamental para a aquisição/aluguer de alguns

softwares e hardwares, o que limitou na quantidade e qualidade de workshops que foi possível realizar.



Nordic Recycled Materials

	 Denmark*	 Finland	 Iceland	 Norway	 Sweden	 EU
 A1-A3 Raw materials, transport, manufacturing	Zero ✓	Zero ✓	TBD	Zero, but if there is Global Warming Potential from processing of the reused products it must be counted (not if negligible i.e GWP from washing the reused products)	Zero ✓	Not defined
 A4/A5 Transport to site, installation	Not declared	Either generic values from national database *** or calculate exact emissions ✓	TBD	Either 300 km, generic values** ✓	Either generic values from national database or calculate exact emissions ***** ✓	Not defined
 B2 Maintenance	Not declared	Not declared	TBD	Maintenance is included	Not declared	Not defined
 B4 Replacement	Zero	Replacement to a new product	TBD	Replacement to a new product	Not declared	Not defined
 C1/C2 Demolition works, transport	Not declared	Included according to the scenarios in the national database	TBD	Not declared	Not declared	Not defined
 C3/C4 Waste management, final disposal	Zero	Included according to the scenarios in the national database	TBD	Not declared	Not declared	Not defined

Figura 4
Slide sobre circularidade dos materiais.

3.4. Testes piloto do curso de formação

O quarto e último resultado do projeto passou pela realização de testes piloto ao curso de formação apresentado na Secção 3.3. Numa primeira fase foi realizado um curso online intensivo em inglês durante uma semana usando plataformas como Zoom, Moodle, Padlet, Miro, Kahoot, etc. Nos workshops os alunos foram convidados a instalar software previamente para usar nessas aulas. Neste curso participaram estudantes dos cinco países parceiros. Numa segunda fase foi realizado um curso em cada país na língua local envolvendo estudantes desse parceiro. Neste caso existiram diversas metodologias pedagógicas (aulas, autoestudo, seminários, etc.) e durações (duas a quatro semanas) de modo a ter em conta a realidade e contexto de cada parceiro. No final de ambas as fases foram realizados inquéritos aos formandos de modo a avaliar o curso. Os resultados foram bastante satisfatórios e permitiram efetuar ligeiras melhorias no curso. Os formandos que participaram nestes testes piloto obtiveram um certificado digital europeu emitido por um dos parceiros do projeto que tem já implementado o sistema de Credenciais Digitais Europeias para a Aprendizagem.

Realizando uma análise crítica ao trabalho efetuado regista-se a importância da realização dos testes piloto para avaliar o curso de formação previamente realizado. Uma das dificuldades encontradas, é que o modelo mais eficaz para a realização dos testes seria a sua incorporação numa Unidade Curricular dos cursos dos alunos, no entanto, atendendo a que os cursos têm um plano de estudos e são acreditados isso não é possível. Deste modo, os testes tiveram de decorrer em regime voluntário e com metodologias pedagógicas alternativas, o que pode penalizar na análise dos resultados.

4. Conclusões

Na Introdução são apresentadas as principais ferramentas imersivas usadas no setor AECO e expostas as suas potencialidades. Referem-se ainda as particularidades do projeto/obra de reabilitação ou valorização do património. Tendo em conta estas duas ideias e a falta de formação de profissionais, nas secções seguintes foi apresentado o projeto ID4Ex que teve como principal resultado a criação de um curso de formação gratuito para profissionais que queiram adquirir competências digitais imersivas no âmbito da reabilitação e valorização do património.

A principal inovação do curso está relacionada com a criação de um especialista em trabalho imersivo (com toda o conhecimento tecnológico que isso implica) aplicado à reabilitação e valorização do património (com todas as particularidades que isso implica). Assim, o curso é composto por sete módulos, sendo os quatro primeiros de cariz mais tecnológico e os restantes três módulos de cariz mais transversal.

O curso destaca-se pela forte análise tecnológica onde muitas ferramentas imersivas atuais (software e hardware) são apresentadas e comparadas, assim como das diversas técnicas de levantamento digital do património. Outro aspeto relevante do curso é a apresentação de diversos casos reais nas áreas da arqueologia, escultura, pintura, arquitetura e engenharia, com objetivos diversos (conservação, reabilitação, visitas virtuais). Destaca-se ainda no curso a evolução das metodologias de trabalho diário, mas utilizando tecnologias imersivas.

Relativamente ao desenvolvimento do projeto ID4Ex o mesmo apresentou algumas falhas, detalhadas na Secção 3, mas pensa-se que o objetivo principal foi conseguido, com a produção de curso multidisciplinar e atual. Pretende-se no futuro incluir parte deste curso na formação de Engenharia Civil da Universidade da Madeira, contribuindo assim para o desenvolvimento do setor AECO na RAM.

Agradecimentos

Os autores agradecem à União Europeia o cofinanciamento do projeto ID4Ex (2021-1-PL01-KA220-HED-000032239).

O primeiro autor agradece o: Financiamento Base – UIDB/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] J. Heijden; “Construction 4.0 in a narrow and broad sense: A systematic and comprehensive literature review”; *Building and Environment*; vol. 244, p. 110788, 2023.

- [2] K. Wang, et al.; “Digital Technology in Architecture, Engineering and Construction (AEC) Industry: Research trend and Practical Status towards Construction 4.0”; *Construction Research Congress 2022*; pp. 983-992; Arlington, Virginia; 2022.
- [3] V. Péter; “Digitalization in the Construction Industry – The pledge of survival”, *Bachelor’s Thesis*, Haaga-Helia University of Applied Sciences, 2022.
- [4] A. Prabhakaran, A. Mahamadu and L. Mahdjoubi; “Understanding the challenges of immersive technology use in the architecture and construction industry: A systematic review”; *Automation in Construction*; vol. 137, pp. 104228, 2022.
- [5] A. Khan, et al.; “Integration of BIM and Immersive Technologies for AEC: A Scientometric-SWOT Analysis and Critical Content Review”; *Buildings*; vol. 11; 2021.
- [6] A. Afolabi, C. Nnaji and C. Okoro; “Immersive Technology Implementation in the Construction Industry: Modeling Paths of Risk”; *Buildings*; vol. 12; 2022.
- [7] A. Sidani, et al.; “Recent Tools and Techniques of BIM-Based Virtual Reality: A Systematic Review”; *Archives of Computational Methods in Engineering*; vol. 28, pp. 449-462; 2021.
- [8] K. Amin, G. Mills and D. Wilson; “Key functions in BIM-based AR platforms”; *Automation in Construction*; vol. 150, p. 104816; 2023.
- [9] S. Alizadehsalehi, A. Hadavi and J. Huang; “From BIM to extended reality in AEC industry”; *Automation in Construction*; vol. 116, p. 103254; 2020.
- [10] L. Alfaro et al.; “Knowledge Construction by Immersion in Virtual Reality Environments”; *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*; vol. 10, pp. 609-619; 2019.
- [11] J. Wen and M. Gheisari; “Using virtual reality to facilitate communication in the AEC domain: a systematic review”; *Construction Innovation*; vol. 20, pp. 509-542; 2020.
- [12] V. Getuli, et al.; “BIM-based immersive Virtual Reality for construction workspace planning: A safety-oriented approach”; *Automation in Construction*; vol. 114, pp. 103160; 2020.
- [13] A. Babalola et al.; “A systematic review of the application of immersive technologies for safety and health management in the construction sector”; *Journal of Safety Research*; vol. 85, pp. 66-85; 2023.
- [14] U. Ruppel and K. Schatz; “Designing a BIM-based serious game for fire safety evacuation simulations”; *Advanced Engineering Informatics*; vol. 25, pp. 600-611; 2011.

- [15] Z. Feng, et al.; "Towards a customizable immersive virtual reality serious game for earthquake emergency training"; *Advanced Engineering Informatics*; vol. 46, p. 101134; 2020.
- [16] F. Banfi; "The Evolution of Interactivity, Immersion and Interoperability in HBIM: Digital Model Uses, VR and AR for Built Cultural Heritage"; *International Journal of Geo-Information*; vol. 10, p. 685, 2021.
- [17] U. Ferretti, R. Quattrini and M. D'Alessio; "A Comprehensive HBIM to XR Framework for Museum Management and User Experience in Ducal Palace at Urbino"; *Heritage*; vol. 5, pp. 1551-1571; 2022.
- [18] M. Casini; "Extended Reality for Smart Building Operation and Maintenance: A Review"; *Energies*; vol. 15, p. 3785; 2022.
- [19] A. Gerger, H. Urban and C. Schranz; "Augmented Reality for Building Authorities: A Use Case Study in Austria"; *Buildings*; vol. 13, p. 1462; 2023.
- [20] A. Egusquiza, et al.; "Co-creation of local eco-rehabilitation strategies for energy improvement of historic urban areas"; *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; vol. 135, p. 1103332; 2021.
- [21] G. Foster and R. Saleh; "The Circular City and Adaptive Reuse of Cultural Heritage Index: Measuring the investment opportunity in Europe"; *Resources, Conservation and Recycling*; vol. 175; p. 105880; 2021.