

Ministério da Educação
Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção, Administração e Economia

RAPHAEL ALLAN ROCHA MOREIRA

**Oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a
gestão de patrimônio histórico e cultural: estudo de
caso com modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora
das Mercês e Perdões de Ouro Preto em MG**

Ouro Preto
2023

Raphael Allan Rocha Moreira

Oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto em MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Produção.

Universidade Federal de Ouro Preto

Orientador: Prof. Me. Cristiano Luís Turbino de França e Silva

Ouro Preto
2023

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

M838o Moreira, Raphael Allan Rocha.

Oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural [manuscrito]: estudo de caso com modelagem 3D da igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto em MG. / Raphael Allan Rocha Moreira. - 2023.
53 f.: il.: color..

Orientador: Prof. Me. Cristiano Luís Turbino de França e Silva.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Produção .

1. Indústria de serviços - Administração - Indústria 4.0. 2. Patrimônio cultural. 3. Engenharia de produção. I. Silva, Cristiano Luís Turbino de França e. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 658.5

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



FOLHA DE APROVAÇÃO

Raphael Allan Rocha Moreira

Oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural: estudo de caso com modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto em MG

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Produção

Aprovada em 15 de março de 2023

Membros da banca

Mestre - Cristiano Luís Turbino de França e Silva - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutora - Irce Fernandes Gomes Guimarães - Universidade Federal de Ouro Preto
Mestre - Davi das Chagas Neves - Universidade Federal de Ouro Preto

Cristiano Luís Turbino de França e Silva, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 15/03/2023



Documento assinado eletronicamente por **Cristiano Luis Turbino de Franca e Silva, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 15/03/2023, às 18:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Davi Neves Pavanelli, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/03/2023, às 09:03, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0491499** e o código CRC **EE210547**.

Dedico esta monografia aos meus pais, que são o meu maior exemplo de amor e dedicação, e ao meu irmão, por ser meu maior aliado. Aos meus amigos, que são uma constante fonte de motivação e apoio. À comunidade ouropretana, por ser uma referência de cultura e história, e à Universidade Federal de Ouro Preto, pela excelência na formação e na construção de memórias inesquecíveis. E, finalmente, agradeço a todos aqueles que de alguma forma, contribuíram com minha formação, tornando este sonho uma realidade.

Agradecimentos

Agradeço ao meu Pai, Márcio, pela constante fonte de motivação e todo apoio oferecido ao longo de minha formação, sua experiência profissional e de vivência foram de suma importância para que eu alcançasse meus objetivos; seu conhecimento e nível intelectual foram cruciais para a realização deste trabalho, além de ser meu pai, o considero também um orientador. Agradeço à minha Mãe, Simone, por ter sido a base de nossa família, por sempre se mostrar motivada a educar e manter seus filhos acalentados por seu amor. Como meu Pai, sua experiência como professora foi fator de grande motivação para a realização deste trabalho. Agradeço ao meu Irmão, Igor, por ser pra sempre meu melhor amigo e maior aliado, sua parceria ao longo da vida tornou a caminhada ainda mais incrível e prazerosa, agradeço por sempre se mostrar como um irmão exigente, que me mantém motivado a melhorar cada vez mais, agradeço pela paciência e por todos momentos que compartilhamos juntos, você faz parte de tudo aquilo que fui, sou e serei. Agradeço à Drielle, por ter sido inspiração e por me manter entusiasmado com a monografia, sua parceria foi essencial para o desenvolvimento do trabalho. Agradeço aos meus avós, por terem sempre sido minha segunda família, por terem fornecido moradia e todos confortos que necessitei para que pudesse cursar a graduação na UFOP, sem vocês, nada disso seria possível. Agradeço aos meus tios e primos por constituírem nossa grande família, formando minha base de apoio. Agradeço aos meus amigos por estarem sempre ao meu lado, independente dos desafios que topamos. Agradeço ao professor Cristiano, por ter sido meu orientador, coordenador de projeto e monitoria; as oportunidades que me deu foram de enorme importância na minha graduação, enriquecendo minhas experiências e currículo profissional. Agradeço ao Departamento de Engenharia de Produção e demais professores pela formação de qualidade, com o corpo docente sempre disponível e preocupados com minha formação. Agradeço à Universidade Federal de Ouro Preto pelo ensino gratuito e de qualidade, tornando o sonho da graduação possível. Agradeço à cidade de Ouro Preto e toda a comunidade ouropretana por terem influenciado diretamente na pessoa que sou. Mil vezes obrigado !

“O cérebro é como um músculo. Quando está sendo usado, nos sentimos muito bem. O entendimento é prazeroso.”

Carl Sagan

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo verificar as Oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural, realizando um estudo de caso com modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto em Minas Gerais. O estudo utiliza uma metodologia de pesquisa qualitativa, incluindo revisão bibliográfica, e análise das possibilidades de aplicação do modelo 3D da igreja. Os resultados mostram que a modelagem 3D é uma ferramenta valiosa para a gestão do patrimônio histórico e cultural, permitindo a criação de um registro digital preciso da igreja, que pode ser usado para preservação, restauração e pesquisa. No entanto, a implementação da indústria 4.0 na gestão do patrimônio histórico e cultural enfrenta desafios significativos, incluindo a necessidade de equilibrar a preservação do patrimônio com a adoção de novas tecnologias, a falta de recursos financeiros e humanos para implementar essas tecnologias, e a necessidade de envolver as comunidades locais na gestão do patrimônio. Em geral, o estudo destaca a importância da aplicação da indústria 4.0 na gestão do patrimônio histórico e cultural, e enfatiza a necessidade de abordar os desafios enfrentados nessa implementação. O estudo conclui que a modelagem 3D é uma ferramenta promissora para a gestão do patrimônio histórico e cultural, mas é importante considerar as implicações mais amplas da adoção de novas tecnologias na gestão do patrimônio e trabalhar em colaboração com as comunidades locais para garantir que a preservação do patrimônio seja equilibrada com a adoção de novas tecnologias.

Palavras-chave: Indústria 4.0, Oportunidades, Desafios, Modelagem 3D, Patrimônio Histórico e Cultural

Abstract

This work aims to verify the Opportunities and challenges of the industry 4.0 for the management of historical and cultural heritage, conducting a case study with 3D modeling of the Nossa Senhora das Mercês and Perdões Church in Ouro Preto in MG. The study uses a qualitative research methodology, including a bibliographical review, and analysis of the application possibilities of the 3D model of the church. The results show that 3D modeling is a valuable tool for the management of historical heritage and culture, allowing the creation of an accurate digital record of the church, which can be used for preservation, restoration and research. However, the implementation of Industry 4.0 in the management of historical and cultural heritage faces significant challenges, including the need to balance the preservation of heritage with the adoption of new technologies, the lack of financial and human resources to implement these technologies, and the need to involve local communities in heritage management. Overall, the study highlights the importance of the application of industry 4.0 in the management of historical and cultural heritage, and emphasizes the need to address the challenges faced in this implementation. The study concludes that 3D modeling is a promising tool for asset management historical and cultural, but it is important to consider the broader implications of adopting new technologies in heritage management and working collaboratively with communities to ensure that heritage preservation is balanced with the adoption of new technologies.

Keywords: 4.0 Industry, Opportunities, Challenges, 3D Modeling, Historical and Cultural Heritage

Lista de abreviaturas e siglas

ERP	Enterprises Resources Planning (Sistema Integrado de Gestão)
CPS	Cyber Physical Systems (Sistemas Ciber Físicos)
SCM	Supply Chain Management (Gestão da Cadeia de Suprimentos)
TI	Tecnologia da Informação
EAI	Enterprise Application Integration (Aplicações para Integração de Negócios)
IOT	Internet of Things (Internet das Coisas)
IOS	Internet of Service (Internet de Serviços)
AI	Artificial Intelligence (Inteligência Artificial)
RA	Realidade Aumentada
RV	Realidade Virtual
BIM	Building Information Modeling
HBIM	Heritage Building Information Modeling
DT	Digital Twin - Gêmeos Digitais
FEA	Finite Elements Analysis - Análise de Elementos Finitos
GC	Gestão do Conhecimento
RFID	Identificação por Radiofrequência
GPU	Graphics Processing Unity - Unidade de Processamento Gráfico

Lista de ilustrações

Figura 1 – Processo de Construção de um modelo HBIM	23
Figura 2 – Fases do Trabalho de Implementação do HBIM para FEA	24
Figura 3 – Campos de Atuação da Indústria 4.0 no Patrimônio	29
Figura 4 – Drone Dji Mini 2	42
Figura 5 – Pontos no plano cartesiano virtual - Nuvem de pontos	43
Figura 6 – Modelo Cru - Poligonal	44
Figura 7 – Modelo Suavizado e Texturizado	45
Figura 8 – Modelo Final - Texturas Finais	45
Figura 9 – Detalhe 1 - Modelo Final	46
Figura 10 – Detalhe 2 - Modelo Final	46
Figura 11 – GPU - Unidade de Processamento Gráfico	47

Sumário

	Lista de ilustrações	10
1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	A Indústria 4.0	16
2.1.1	Internet de Serviços (IoS) e Internet das Coisas(IoT)	19
2.1.2	Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV)	21
2.1.3	HBIM, Digital Twin, Facilities Management, Modelagem 3D	22
2.2	Patrimônio Cultural e Histórico na Indústria 4.0	25
2.2.1	Indústria 4.0 e seu Impacto no Patrimônio Cultural	27
2.2.2	Desafios da Indústria 4.0 para o Patrimônio Cultural	30
2.2.3	Modelagem 3D aplicada ao Patrimônio Cultural	32
3	METODOLOGIA	35
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	38
4.1	Verificação de Oportunidades da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural	38
4.2	Verificação de Desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural	40
4.3	Modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto - MG	42
5	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
	REFERÊNCIAS	51

1 Introdução

Os conceitos de sistemas integrados de gestão, independente de onde se encontram na linha tempo, têm sua base em integração de sistemas existentes dentro de uma linha de produção. Os modelos de sistemas de gestão que são utilizados hoje em dia, tem suas origens nos conceitos de ERPs(Enterprise Resource Planning) surgidos durante o fim da década de 90, coincidindo com a internet sendo cada vez mais difundida nas organizações produtivas, no que é reconhecido como o início da quarta revolução industrial, conceito hoje conhecido como Indústria 4.0.

Com o aumento da influência da internet e evolução da computação sofrida pelas organizações, a necessidade por melhores e mais robustos sistemas de gestão se torna cada vez mais latente. Este avanço trás em evidência também a criação de conceitos que visam reduzir, gradativamente, a participação humana dentro dos processos produtivos.

As justificativas para a redução do impacto humano dentro dos processos produtivos vem da crença que algoritmos preditivos, inteligência artificial e sistemas de gestão integrados automatizados trazem enorme benefício para processos produtivos, aumentando cada vez mais sua capacidade industrial, como também aliviam o impacto psicológico sofrido por humanos que operam estes processos; trazendo novos horizontes para a evolução da capacidade humana associada à produção industrial.

Assim como em escala industrial, a quarta revolução industrial atingirá também as microempresas e micronegócios, visto que a influência da internet e seus outros conceitos é tão intensa, que nem mesmo as menores empresas escaparão das mudanças que a nova revolução trará.

A indústria 4.0, tem sido um dos principais temas de discussão e pesquisa nos últimos anos. Isso se deve ao fato de que essa transformação tecnológica tem potencial para revolucionar diversos setores da economia e da sociedade, incluindo a gestão de patrimônio histórico.

O patrimônio histórico é entendido como o conjunto de bens culturais produzidos pelo ser humano no decorrer da história, que possuem valor histórico, cultural, artístico ou científico. Esses bens incluem desde monumentos arquitetônicos e estátuas, até objetos de arte, documentos históricos e sítios arqueológicos. A sua preservação e valorização é fundamental para a preservação da memória e da identidade de uma sociedade, bem como para o incentivo à pesquisa e ao conhecimento.

O patrimônio histórico é um recurso cultural valioso e deve ser preservado e valorizado para garantir a continuidade da memória e da identidade de uma sociedade. A preservação e valorização do patrimônio histórico é fundamental para preservar a história, a cultura e a arte de uma sociedade, bem como para incentivar a pesquisa e o conhecimento. A preservação do patrimônio histórico também é importante para o turismo, pois os bens

culturais são um atrativo para os visitantes e podem ser uma fonte de renda para as comunidades locais.

No entanto, a preservação e a valorização do patrimônio histórico é um desafio, pois esses bens são vulneráveis a danos físicos, naturais e antrópicos. Além disso, a preservação e a valorização do patrimônio histórico requer investimento financeiro e recursos humanos, e pode enfrentar obstáculos legais e burocráticos. Diante disso, é necessário que haja uma abordagem integrada e multidisciplinar na preservação e valorização do patrimônio histórico, incluindo a participação da sociedade civil, setor privado, instituições governamentais e acadêmicas.

Mudanças que também ocorrerão no campo de gestão do patrimônio, termo conhecido como Patrimônio 4.0, que, dentro deste conceito existem ainda muitas ideias e técnicas de Indústria 4.0 que são utilizadas para realizar a gestão do patrimônio. A união entre o mundo físico e suas representações digitais, acontecem em todos os campos da cultura e produção dos dias de hoje. Em relação ao patrimônio arquitetônico e urbanístico, nota-se que diversas tecnologias tem sido utilizadas para documentar, interpretar, gerenciar, e divulgar locais arqueológicos, bens arquitetônicos e conjuntos urbanos.

A indústria 4.0 pode contribuir para a gestão de patrimônio histórico de diversas maneiras, tais como:

- Melhoria dos processos de conservação e restauração: a tecnologia digital pode ser utilizada para realizar análises detalhadas e precisas de materiais e estruturas históricas, bem como para desenvolver técnicas de conservação e restauração mais eficientes e sustentáveis. Além disso, a utilização de drones e sistemas de sensoriamento remoto permitem uma monitoração mais precisa e constante das condições de conservação dos bens culturais.

- Valorização do patrimônio histórico: a indústria 4.0 também pode ser utilizada para promover a valorização do patrimônio histórico de diferentes maneiras, como por meio da criação de experiências imersivas e interativas para os visitantes, da utilização de plataformas digitais para difundir informações sobre os bens culturais e da realização de projetos de educação patrimonial utilizando tecnologias como realidade aumentada e virtual.

- Proteção do patrimônio histórico: por fim, a indústria 4.0 também pode ser utilizada para proteger o patrimônio histórico de diferentes ameaças, como o vandalismo, o tráfico de artefatos e o desenvolvimento urbano sem planejamento.

O registro e documentação do patrimônio tem agora fortes aliados nas tecnologias digitais, como Modelagem de Informação da Construção (Building Information Modeling – BIM), levantamento tridimensional de edificações por meio de varredura de feixes de luz, (escaneamento a laser), são exemplos que fazem parte de uma crescente potencia tecnológica para documentação de locais e edificações históricas, criando até mesmo informação com precisão milimétrica. Além disso, o uso de tecnologias digitais como o Building

Information Modeling (BIM) e o levantamento tridimensional de edificações através de varredura a laser, permitem a documentação precisa e detalhada de patrimônios históricos, incluindo informações com precisão milimétrica. Essas tecnologias são fundamentais para a preservação e conservação do patrimônio cultural, e também podem ser utilizadas para fins educativos e turísticos. Outra tecnologia que tem ganhado destaque para documentação de patrimônio cultural é a Realidade Aumentada, que permite a interação e exploração de objetos e locais históricos de forma interativa e inovadora, proporcionando melhores entendimentos e valorização desse patrimônio.

A modelagem 3D é um grande aliado para a gestão patrimonial, pois é uma técnica capaz de capturar e virtualizar bens materiais, como artefatos e edificações, parametrizando o bem digitalmente, criando diversas possibilidades para sua preservação; a preservação com viés digitalizado tem a capacidade de ser eterna, bastando apenas estar guardada em um disco rígido ou registrado na nuvem. Isto faz com que a preservação do bem se torne ainda mais efetiva, visto que a modelagem 3D é capaz de captar detalhes de todo o entorno dos objetos, independente de seu tamanho, tornando possível a utilização do modelo digitalizado para consultas em caso de reformas, ou até mesmo de reconstrução da edificação em caso de desastres naturais, incêndios ou perdas materiais pelo tempo.

Um estudo de caso utilizando a modelagem 3D foi realizado nesta monografia, justificando a importância do tema, e comprovando sua viabilidade. A Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões foi a edificação escolhida para realizar a modelagem 3D, visto sua importância como bem histórico material da cidade de Ouro Preto em Minas Gerais.

A justificativa para a realização deste trabalho se encontra no fato de haver, em cidades históricas, a crescente necessidade de adaptação à estas tecnologias, trazendo a tona a discussão sobre como e porquê essas cidades, donas de patrimônio histórico cultural, precisam compreender melhor as tendências que são trazidas pelo advento da Indústria 4.0; demonstrando que todas as esferas da sociedade sofrerão impactos, inclusive a gestão patrimonial. O Estudo de Caso vem como reforço à justificativa, pois, a realização de um modelo 3D de uma edificação histórica pode contribuir para a preservação do bem cultural; sendo possível realizar estudos sobre o modelo 3D e até mesmo realizar reformas futuras em caso de perdas materiais por desastres naturais ou não.

O objetivo geral deste trabalho é verificar oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural. Para isso, tem-se os seguintes objetivos específicos: verificar as oportunidades da indústria 4.0 para gestão de patrimônio histórico e cultural; verificar os desafios da indústria 4.0 para gestão de patrimônio histórico e cultural; apresentar um estudo de caso de modelagem 3D realizado na Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões em Ouro Preto - MG.

A metodologia utilizada é a de Pesquisa Bibliográfica e Estudo de Caso com a realização de modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto-MG; tomando como referência livros e artigos que vem sendo publicados na área de

Patrimônio 4.0, Indústria 4.0 e patrimônio cultural; toda a pesquisa será realizada a partir destas publicações; Além disso, a pesquisa visa criar um material em “estado da arte”, ou seja, um levantamento técnico e científico atualizado e completo sobre Patrimônio 4.0 em cidades históricas. O estudo de caso foi feito com base nas sugestões da literatura, tomando-a como base e concretizando o projeto; haverá apresentação e discussão dos resultados atingidos com a realização deste estudo.

2 Referencial Teórico

2.1 A Indústria 4.0

Os primórdios do trabalho remontam ao início das civilizações, onde o homem utilizava de sua força física para realizar tarefas, sendo muito comum o uso de mão de obra escrava para tarefas com grande repetição e grande esforço braçal. O uso de força animal veio em seguida, substituindo a força humana em diversas tarefas. Com o advento das Revoluções Industriais, o uso de forças da natureza para movimentação de moinhos, velas e força motriz de quedas d'água toma grandes proporções, iniciando assim, a Primeira Revolução Industrial, com seu início no fim do século XVIII durando até o início do século XIX; fase que é reconhecida como primórdio da automação e mecanização industrial Sacomano et al. (2018).

A partir do início do século XIX, o mundo entra na fase da Segunda Revolução Industrial, com grandes invenções e descobertas, como a energia elétrica, linhas de montagem, motores à combustão, trens a vapor e elétricos e aeronáutica; fase que perdura até a Segunda Guerra Mundial, acontecimento que favorece o início da Terceira Revolução Industrial, que trouxe conceitos como controladores, computadores, automação e robótica; além disso, aprimoramento de técnicas de gestão de modelos produtivos, como o Toyotismo Sacomano et al. (2018).

A próxima revolução industrial, conhecida como a quarta, e também como Indústria 4.0, vem possibilitando a integração de sistemas ciber físicos, casando o real com o virtual, conectando sistemas digitais, físicos e biológicos. Tal revolução vai muito além de tecnologias inovadoras que estão nela empregadas, e também além do mercado de trabalho que esta revolução afetará de maneira geral. Um dos seus grandes sucessos é a gestão de conhecimentos e capacitação de trabalhadores para esta nova fase do mercado de trabalho e industrial. Importantes desafios para serem gerenciados pelas organizações deverão ser observados, visto que a adaptação para as inovações poderá representar adaptações e aquisição de novos conhecimentos (SCHWAB, 2016 apud AIRES; KEMPNER-MOREIRA; FREIRE, 2017).

Os aspectos que envolvem o trabalho estão totalmente relacionados com a evolução dos sistemas de produção, sendo assim, a cada revolução, é exigido aos trabalhadores que modifiquem seus perfis, passando do trabalho braçal ao intelectual, demandando que as empresas agora se preocupem a formação de seus trabalhadores, sendo destes, cada vez mais necessária sua capacitação (MEISTER, 1999 apud AIRES; KEMPNER-MOREIRA; FREIRE, 2017).

Mesmo com o conhecimento ter se tornado o foco, muitas organizações ainda não detém o o saber de como gerenciá-lo. O novo conceito forçou grandes mudanças nos pro-

cessos organizacionais, trazendo novos desafios para a gestão da organização. A Gestão do Conhecimento (GC) surge neste contexto, sendo vista como uma necessidade para qualquer organização que almeja melhorar seus resultados. Gestão do conhecimento é entendido como o processo de gestão que inicia-se com a identificação dos objetivos estratégicos da organização, em seguida, práticas para identificar, desenvolver, reter, e disseminar o conhecimento útil. O uso de conceitos, procedimentos e ferramentas de tecnologia da informação dão suporte às práticas coletivas de criação e compartilhamento, mirando o aperfeiçoamento do desempenho da organização (QUANDT, 2001 apud AIRES; KEMPNER-MOREIRA; FREIRE, 2017).

Grandes mudanças ocorreram nos anos 1990 em 2000 em relação a participação da Tecnologia de Informação nas formas de administração, exercendo grande influência na forma como a gestão passou a ser realizada. Tendo em vista que as empresas dependiam fortemente do suporte administrativo em mídias físicas e enormes arquivos, a TI agora tem um papel altamente integrado nas atividades de gestão das organizações, com sua participação cada vez maior nos produtos e serviços oferecidos pelas empresas, sendo possível notar muitas vezes, a TI se tornando o produto e serviço, tomando frente na participação majoritária dos negócios Sacomano et al. (2018).

Agora, no início do século XXI, onde o mundo se encontra na Quarta Revolução Industrial, Os conteúdos divulgados pela internet se tornam cada vez mais colaborativos com o surgimento de rede sociais, que, atualmente, são utilizados por cerca de 37% da população mundial. Além das redes sociais, o mercado de forma geral vem se adaptando a uma base consumidora cada vez mais influenciada pela internet, com suas estratégias de venda e marketing dos mais variados produtos e serviços sendo traçadas com objetivo de atingir este público; sendo possível até mesmo reconhecer padrões de comportamento com o uso de big-data. Plataformas de negócios digitais estão extremamente em evidência, como AirBnB para hospedagem e Uber para transporte de passageiros Sacomano et al. (2018).

Um dos maiores impactos causados pela Indústria 4.0 se baseia no fato de que haverá fusões das tecnologias anteriormente citadas, impactos estes que afetarão a humanidade em escalas jamais vistas, pois a adequação das pessoas à estas novas tecnologias é de difícil compreensão, podendo a adaptação ser simples, ou até mesmo muito complexa. O uso de smartphones e a internet já são de fácil compreensão, mas tecnologias que poderão ser ainda mais desafiadoras estão ainda sendo implementadas, como biologia sintética; tecnologia que criará discussões éticas, morais e espirituais, conferindo o elevado nível de complexidade atrelado a essas mudanças. Além da biologia sintética, a Inteligência Artificial (AI), também eleva o nível de complexidade das questões que envolvem essa tecnologia, tendo em vista a capacidade dessas Inteligências Artificiais de aplicarem algoritmos que poderão prever e sugerir escolhas humanas, tudo isso dentro de serviços de streaming e/ou e-commerce. Na medicina, robôs-médicos poderão ser utilizados para aconselhar,

diagnosticar e até mesmo prescrever medicamentos aos pacientes enfermos. todas essas mudanças trazem grandes questionamentos sobre como os seres humanos irão se adaptar, sendo este ainda um campo desconhecido, afinal, nunca antes na história a humanidade se viu diante de tamanha evolução tecnológica; afetando até mesmo a individualidade e modo de pensar de todos nós (SCHWAB, 2016 apud QUINTINO et al., 2019).

Novas formas de interconexão com sistemas “físicos” de coleta de dados e sistemas inteligentes que possuem capacidade de interpretar os dados melhoraram a tomada de decisão, tornando-a mais holística e integrada. Sendo assim, é possível perceber que, ao considerar as interações entre o mundo físico e virtual, existe um processo de retroalimentação entre esses dois mundos, onde o mundo material é decodificado com o uso de dispositivos que irão traduzir estas informações, e, digitalmente, aspectos do mundo real são representados e apurados não apenas em circunstâncias atuais, mas como aquelas que serão possíveis no futuro Gonçalves (2022).

Este cenário disruptivo criado pela Indústria 4.0 se espalha por todos os campos de conhecimento, alterando o modo como as coisas e pessoas interagem entre si. Tais impactos podem, também, ser observados no campo de arquitetura, arqueologia e preservação de patrimônio histórico e cultural. Essa quebra de padrões possibilita a abertura de novas frentes de atuação e pesquisa nos campos citados anteriormente, utilizando as tecnologias da Indústria 4.0 para antecipação, ensino, uso, projeto e conversação de construções civis Gonçalves (2022).

Dentre as ferramentas que poderão ser utilizadas para estes fins, podemos citar as tecnologias de Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV), que foram desenvolvidas rapidamente nos últimos tempos, e trouxe a possibilidade de criação de ambientes dinâmicos, com o conceito de “Reconstrução 3D” de monumentos e edificações culturais e históricas; Além disso, em especial, a modelagem digital demonstra ser um dos campos mais desenvolvidos neste cenário, ressignificando atividades analíticas e de intervenção destes espaços. Por muito tempo, a visualização 3D era tida como uma ferramenta apenas de substituição ou representação do campo físico, porém, com a grande velocidade de seu desenvolvimento, cada vez mais novas possibilidades são criadas, passando pela pesquisa, entretenimento, educação e até mesmo fins comerciais Gonçalves (2022).

Levando em conta que nos EUA, implementações de tecnologia avançada de fabricação e manufatura falham em 50 a 75%, por falta de agilidade, confiabilidade e flexibilidade; tais falhas são causadas por fatores humanos, incluindo também, que, um dos principais desafios na implementação de tecnologia é a falta de análise de problemas humanos (CHUNG, 1996 apud SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018). Os desafios sociais da implementação da Indústria 4.0 são tão amplos quanto os sistêmicos, até mesmo para organizações que possuem histórico com longos anos de experiência na implementação de novas tecnologias de automação; Criar bons empregos em engenharia de produção que proponham o bem-estar humano como principal objetivo, cuidando de sua saúde e empreendam apren-

dizado; qualificar tal profissão sob os holofotes das eminentes mudanças é um grande desafio (PFEIFFER, 2015 apud SANTOS; MANHÃES; LIMA, 2018).

O perfil do profissão da Indústria 4.0 deverá ser desenvolvido e ordenado em relação aos requisitos de visão técnica, multidisciplinar, colaboração, idioma, senso crítico e flexibilidade SANTOS, MANHÃES e LIMA (2018).

2.1.1 Internet de Serviços (IoS) e Internet das Coisas(IoT)

Internet de Serviços é um conceito que complementa e agrega os outros elementos de Indústria 4.0 citados previamente, trazendo como ponto principal o oferecimento de serviços através da web. Os significados de “serviço” são subjetivos, podendo ter o significado alterado a depender do contexto em que é utilizado. “Para produtores de software um serviço pode ser um elemento de software disponível na internet com uma interface definida” plataformas de pagamentos para produtos comprados na internet, e até mesmo parte de alguma estrutura integradora e armazenadora de dados, conceito que é hoje definido como nuvem (cloud computing) Sacomano et al. (2018).

Dessa forma, o significado de “serviço” pode ser explicado e reconhecido muito antes de sua associação com a internet. “Serviço” é definido como alterações nas condições de uma pessoa ou bem, resultando da atividade de uma empresa e com acordo prévio do beneficiário e de quem oferece o serviço Soriano (2013).

A IoS vem como uma nova forma de estabelecer relacionamento com o público interessado em adquirir os serviços de uma organização, integrando e oferecendo novas maneiras de serviços que possam ser adquiridos, contratados, usados (até mesmo para remuneração online), transformando os modelos de negócios vigentes atualmente. Tal integração vem se tornando cada vez mais evidente, fortalecendo laços entre clientes, empresas, informatização e produção; A exemplo de uma linha de produção ociosa, que poderá vender horas de utilização para outra empresa interessada, ou até mesmo adquirir e alocar recursos de maneira ainda mais inteligente, tornando o processo produtivo cada vez mais eficaz e balanceado Sacomano et al. (2018).

O advento da IoS também é válido para pessoas, que se tornarão usuárias dos serviços oferecidos online, como também poderão criar e oferecer seus próprios serviços, tudo isso de maneira intuitiva, reduzindo a necessidade de grandes conhecimentos técnicos em TI. Dessa forma, será possível observar o surgimento de formas de negócios cada vez mais inovadoras, facilitando o acesso de todas as pessoas às soluções e técnicas de negócios que já foram um dia inacessíveis e de difícil aplicação; atrelado à redução dos preços de softwares e hardwares, causando assim o crescimento do número de usuários que acessarão os serviços em qualquer parte do mundo, através da web Sacomano et al. (2018).

Um conceito que está fortemente ligado à IoS é a Internet das Coisas, ou IoT(Internet of Things), que é onde dispositivos inteligentes poderão estar interligados através da rede, podendo assim, oferecer serviços e melhorias incrementais e fundamentais para os setores

da educação, saúde, etc. Criando também um novo espaço para que novos aplicativos e soluções possam ser desenvolvidos. Com a possibilidade da intercomunicação entre os dispositivos, sem depender da interação humana, a Internet das Coisas promete facilitar e impulsionar modelos de negócios, trazendo melhorias e fomentando o fornecimento de diversos serviços existentes em qualquer setor. A IoT, para os consumidores finais, tem a capacidade de melhorar fortemente a eficiência de serviços de energia, segurança, saúde e educação, facilitando o acesso à estes, e aumentando ainda mais a qualidade de vida daqueles que a utilizarem; Além disso, a integração de dispositivos inteligentes integrados à nuvem com o espaço de vivência das pessoas também trará enorme ganho de bem-estar e comodidade, podendo até mesmo gerar economia energética e financeira, reduzindo custos e aumentando a segurança do fornecimento de energia da edificação Quintino et al. (2019).

Em relação ao uso da IoT em cidades inteligentes, as tecnologias inclusas são: detecção, tecnologias de rede e tecnologias de dados. O desenvolvimento acelerado ao longo das décadas, tais tecnologias estão cada vez mais amadurecidas e preparadas, permitindo a criação de camadas de detecção e interconexão dentro das cidades, gerando assim, um amadurecimento também nas tecnologias de dados. No ramo de dados, muitos desafios ainda são evidentes, incluindo capacidade de armazenamento, organização, gerenciamento e análise. A tecnologia de detecção e sensoriamento, tem o objetivo de notar mudanças no status dos ambientes monitorados, valendo também para objetos de valor, trazendo dados relevantes para o sistema. São parte deste grupo as tecnologias de RFID, imagens por radar, detecção magnética, monitoramento de ar, ruído, temperatura e umidade. A Internet das Coisas (IoT) funciona como uma extensão da Internet atual, conectando os mais diversos dispositivos possíveis, com o aumento da quantidade destes dispositivos se mostrando também um fator relevante. Jara et al. (2015)

Tecnologias de Internet que se mostraram eficazes são o alicerce para as conexões IoT. Em relação às cidades inteligentes que já utilizam IoT, cada coisa equipada com chips de detecção pode trocar dados em um formato especificado com outras coisas ou servidores na internet. O IPv4 (Internet Protocol versão 4) é uma das principais tecnologias de endereçamento utilizadas na internet atual. Porém, ainda não é capaz de fornecer endereços suficientes para volumes, de trilhões ou mais, de coisas conectadas em cidades inteligentes. O IPv6 (Internet Protocol versão 6) possui capacidade de fornecer endereços suficientes para IoT, introduzindo 6LoWPAN para preencher as lacunas de capacidades. Com o suporte de IPv6/6LoWPAN, todas as coisas inteligentes poderão ser conectadas à Internet atual. Esses dispositivos poderão trocar informações entre si, gerando até mesmo conteúdo na web automaticamente, formando a Web das Coisas; por meio da qual, os usuários podem ter acesso a qualquer dispositivo conectado à internet Jara et al. (2015).

2.1.2 Realidade Aumentada (RA) e Realidade Virtual (RV)

AR (Augmented Reality), ou RA (Realidade Aumentada) é uma técnica que une a visualização em tempo real com imagens virtuais geradas por computador, com o objetivo de criar uma experiência em tempo real da realidade (KLEEF; NOLTES; SPOEL, 2010 apud TSCHEU; BUHALIS, 2016). Não se trata de um novo conceito, porém, representa um acelerado desenvolvimento, que foi possível graças ao avanço das melhorias em hardware, banda larga, e a crescente demanda por dispositivos móveis (BERNARDOS; CASAR, 2011 apud TSCHEU; BUHALIS, 2016). A utilização de AR é capaz de criar valor em lugares Culturalmente Históricos (CRANMER; JUNG, 2014 apud TSCHEU; BUHALIS, 2016). Os turistas poderão explorar os entornos desconhecidos de um local histórico de uma forma agradável e emocionante, sendo este, um dos maiores benefícios no ponto de vista da oferta de cultura, pois existe uma crescente no mercado de turismo com foco em experiências únicas e memoráveis. Os pesquisadores explicam que a interação do visitante com os sistemas de RA contribui para uma experiência de cultura mais rica e proveitosa. A Realidade Aumentada (RA) é considerada uma tecnologia viável para o setor de patrimônio, pois é agora possível desenvolver aplicativos para dispositivos móveis de consumidor, como smartphones. Desde 2010, houve um aumento no número de aplicativos RA para uso em patrimônio histórico e cultural. Alguns aplicativos, como “Time Traveler” e “Past View”, oferecem experiências de AR através de smartphones ou óculos inteligentes, respectivamente. No entanto, ainda há necessidade de mais pesquisas acadêmicas para aumentar o número de estudos de caso bem-sucedidos de AR em locais de valor histórico e cultural. A RA pode ser usada para transformar ativos de patrimônio histórico em produtos, aumentando o valor do local para os visitantes e permitindo que eles descubram e experimentem o patrimônio de maneira mais envolvente. No entanto, é importante considerar que a RA deve ser usada de maneira apropriada e respeitosa em relação ao patrimônio histórico e cultural, a fim de evitar qualquer dano ou desrespeito ao local Tscheu e Buhalis (2016).

O acelerado crescimento das tecnologias móveis trazem ao protagonismo dispositivos portáteis que combinam a capacidade de manipular dados com sensores que permitem interagir com o ambiente virtual gerado. A Realidade Aumentada permite sobrepor nossas percepções sensoriais da realidade com aquela criada no ambiente virtual, gerada por estes novos dispositivos. Uma parte destas tecnologias possuem sistemas operacionais integrativos, como o Google Glass ou Microsoft Hololens, e ainda outras que incluem software que poderá rodar juntamente ao smartphone como um App. Em termos simplificados, a Realidade Aumentada fornece uma camada virtual de informações, imagens e modelos 3D que interagem com o ambiente ou objeto real Petrucco e Agostini (2016).

Na educação, o potencial da Realidade Aumentada tem atraído cada vez mais a atenção de educadores e pesquisadores, pois reconhecem neste instrumento uma promessa fundamental da escola do futuro. Atualmente já existem muitas aplicabilidades educaci-

onais dos dispositivos de Realidade Aumentada, em particular para uso científico dentro e fora da sala de aula, mas ainda contamos com poucos estudos sobre o real valor desta tecnologia no campo da educação Petrucco e Agostini (2016).

Os jogos baseados no patrimônio cultural têm sido considerados uma boa maneira de aumentar o envolvimento com o conteúdo cultural nos últimos anos. Os jogos sérios e o aprendizado baseado em jogos são uma tendência crescente. Embora haja desafios no desenvolvimento de jogos baseados no patrimônio cultural, os resultados apontam para vantagens significativas no seu uso. A combinação de realidade virtual (VR) e jogos no patrimônio cultural também tem produzido resultados promissores, especialmente para faixas etárias específicas, independentemente do nível de conhecimento sobre patrimônio cultural. Isso os torna ferramentas importantes para experiências culturais. Os jogos e processos de gamificação no patrimônio cultural não apenas aumentam o engajamento, mas também a reflexão e a interpretação. Vários estudos apoiam essa descoberta. Revisões anteriores do tema estudaram jogos de realidade aumentada (AR) e VR no patrimônio cultural, com o objetivo de mapear o campo e impulsionar pesquisas futuras, tendo como foco três aspectos principais: sociabilidade, gamificação e virtualização Theodoropoulos e Antoniou (2022).

2.1.3 HBIM, Digital Twin, Facilities Management, Modelagem 3D

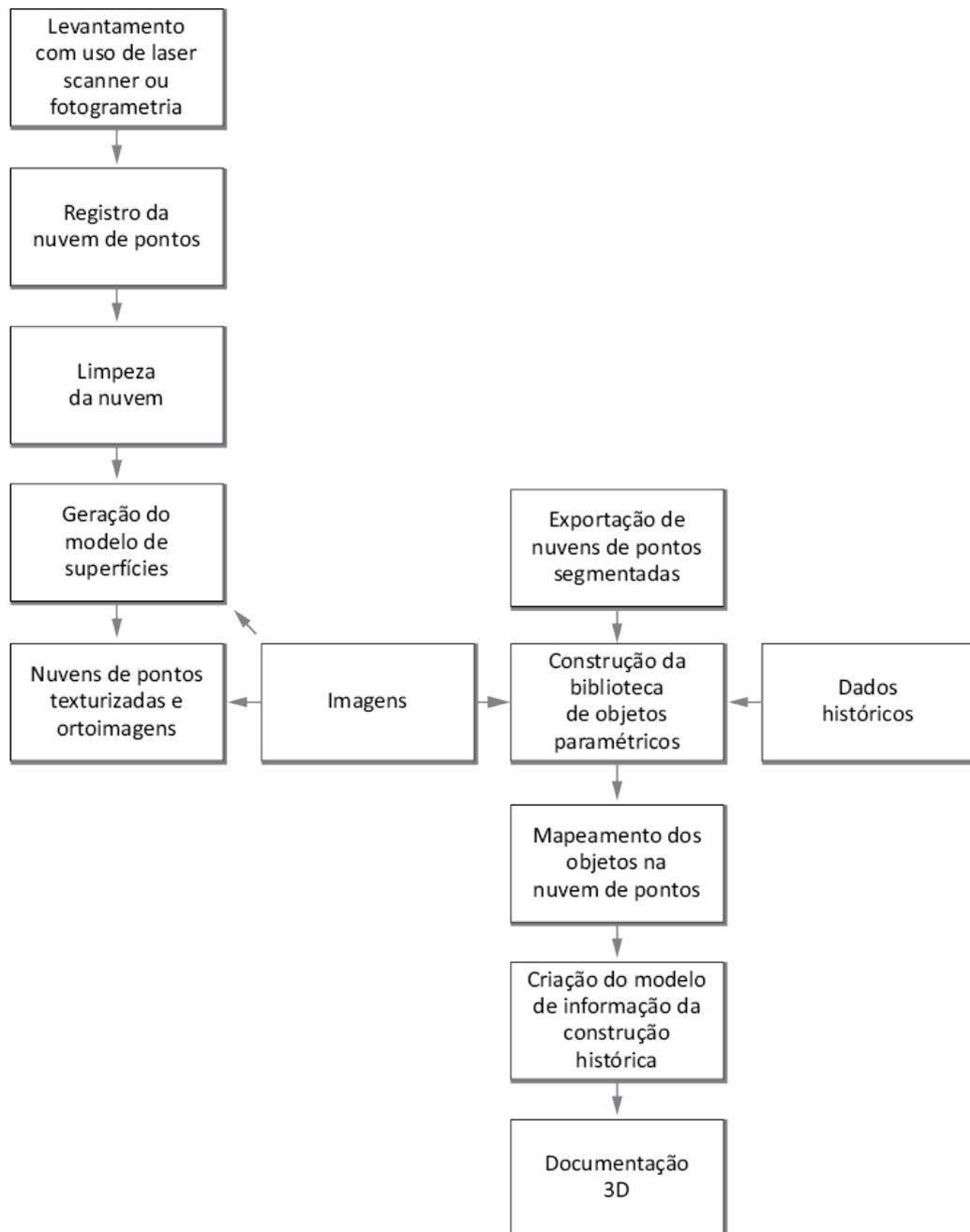
Tecnologias digitais vem sendo cada vez mais utilizadas na preservação e conservação do patrimônio cultural. Um grande avanço é o Heritage Building Information Modeling - HBIM, representando um avanço socio-técnico de documentação e gestão do patrimônio histórico cultural. Tem como objetivo a conservação de um edifício, atuando de forma a dar suporte e manutenção preventiva ao bem, sendo assim, é necessária a utilização destas tecnologias para a gestão de patrimônio. Salgado, Canuto e Codinhoto (2022).

O termo HBIM nasceu dentro do Dublin Institute of Technology, e seu conceito vem sendo montado desde o final da década de 1990. Os sistemas HBIM, primeiramente, foram formados como uma conjunção da ideia de conectar elementos de modelos 3D aos bancos de dados externos, e posteriormente, utilizar estes modelos em três dimensões para agregar conhecimento em relação a processos históricos de construção e teoria arquitetônica. O HBIM vem se consolidando como um processo que une as dimensões documentais, reconstrução 3D, informacionais, integrando um sistema multidisciplinar que vai além de reconstrução digitais de objetos geométricos e parametrizados Murphy, Mcovern e Pavía (2009).

O HBIM pode ser considerado como uma solução de engenharia reversa, onde os elementos arquitetônicos são mapeados e varridos com lasers ou fotogrametria, e então, os dados levantados são combinados a objetos paramétricos, gerando um modelo atualizado e completo. O produto final do HBIM inclui detalhes como materiais e métodos construtivos e arquitetônicos. Também são geradas vistas ortográficas e perspectivas, baseando e

implementando a análise de conservação de objetos históricos, estruturas e ambientes, conforme Figura 1 Gonçalves (2022).

Figura 1 – Processo de Construção de um modelo HBIM



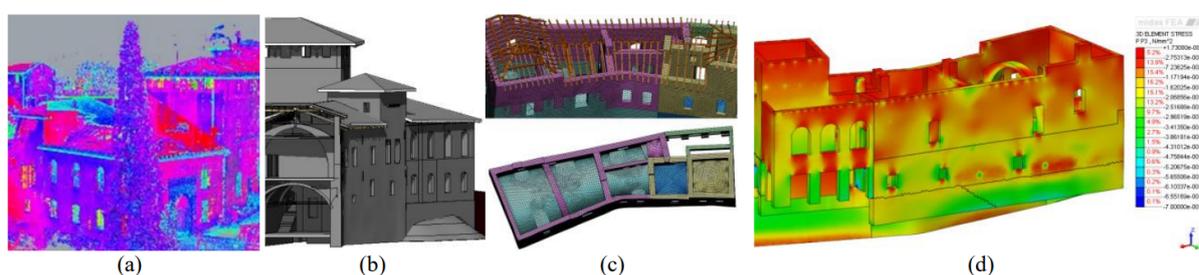
Fonte: Gonçalves (2022)

A combinação entre HBIM e DT (Digital Twin - Gêmeos Digitais) tem se mostrado com grande potencial para identificar eventos de manutenção de forma preventiva, e auxílio em tomada de decisões, pois é capaz de combinar informações em tempo real dos elementos fixos e dinâmicos do local construído. Estas duas tecnologias são capazes de

analisar ocorrências de manutenção em edificações que são patrimônio histórico, podendo atuar na manutenção de ativos para a preservação de patrimônio cultural brasileiro Salgado, Canuto e Codinhoto (2022).

Estas tecnologias, podem ainda, num sentido de maior complexidade, serem utilizadas para criar modelos BIM com nuvens de pontos para simulação estrutural com base na Análise de Elementos Finitos (FEA). Tais simulações são geradas como uma nuvem de pontos, com densidade cada vez melhor, com o uso de laser que fornecerão modelos BIM baseados em FEA, conforme Figura 2 Barazzetti et al. (2015).

Figura 2 – Fases do Trabalho de Implementação do HBIM para FEA



(a) aquisição de pontos nuvem (b) criação do modelo BIM a partir dos pontos, preservando a complexidade geométrica (c) geração do modelo de elementos finitos (d) análise estrutural com o novo modelo. Este exemplo foi feito com o Castelo Masegra, em Sondrio, Itália

Fonte: Barazzetti et al. (2015)

Juntamente do HBIM, os Gêmeos Digitais - Digital Twin (DT) vem sendo implementados na área de Gestão de Patrimônio; um DT se trata de uma representação digital com aspectos realistas de ativos, processos e sistemas no ambiente natural ou edificado (BOLTON; ENZER; SCHOOLING, 2018). A popularização do uso do DT foi possível graças ao aceleração significativo de desenvolvimento das tecnologias de big data, IoT e sensores. Apesar disso, a crescente aplicação de DT na Arquitetura, Engenharia, Construções e Operações, muitos gestores não estão cientes das práticas de gestão com o uso de DT Salgado, Canuto e Codinhoto (2022).

Desde a sua introdução, o DT viu sua popularidade tem aumentar à medida que mais pesquisadores passaram a focar suas pesquisas nesta área. A popularidade do DT também pode ser observada no fato de que foi considerada uma tendência tecnológica estratégica por três anos consecutivos (2017-2019) pelo Gartner, uma tecnologia futura no campo aeroespacial e de defesa pela Lockheed Martin, e uma das tecnologias que definem a próxima década pela Forbes. Segundo a Juniper Research, até 2021, o mercado global de DT era esperado em 12,7 bilhões de dólares. A participação no mercado global de DT, anteriormente dominada pelos primeiros usuários da tecnologia, ou seja, América do Norte

e Europa (acima de 50%), deverá se expandir na Ásia-Pacífico a uma taxa de crescimento anual de 40% nos próximos 5 anos. Conforme o mercado de DT cresce exponencialmente, todos os setores ou empresas querem investir nessa tecnologia. No entanto, para aproveitar ao máximo a tecnologia de DT para qualquer setor, é importante entender o valor que ela pode trazer para o negócio, e também é benéfico entender as diferentes características e tipos de DT para escolher o tipo correto que pode complementar o negócio e proporcionar lucros máximos Singh et al. (2021).

2.2 Patrimônio Cultural e Histórico na Indústria 4.0

Um modelo de cidade 3D é uma representação tridimensional do ambiente urbano, incluindo objetos e estruturas comuns, como edifícios, que são a característica mais proeminente. Esses modelos são criados a partir de várias técnicas de aquisição, como fotogrametria, varredura a laser, extrusão de pegadas 2D, radar de abertura sintética, modelos e desenhos arquitetônicos, dispositivos portáteis, modelagem processual e geoinformação voluntária. Inicialmente, os modelos de cidade 3D eram principalmente utilizados para visualização. No entanto, à medida que a tecnologia se desenvolveu, eles se tornaram valiosos para vários propósitos além da visualização e são utilizados em muitos domínios diferentes, como planejamento urbano, gerenciamento de desastres, transporte, turismo, entre outros. É difícil acompanhar as possibilidades de utilização dos modelos de cidade 3D devido à sua diversidade e ao crescente número de aplicações. Apesar da presença cada vez maior desses modelos, não existe um catálogo das aplicações da modelagem 3D. Cada aplicação requer dados 3D específicos, por isso um catálogo pode ajudar a associar os requisitos a aplicações específicas. Identificar esses requisitos também ajuda a gerar dados 3D adequados à finalidade e fornecer uma referência para testes com usuários, contribuindo para entender a adequação modelos Biljecki et al. (2015).

O tombamento é uma forma de preservação do patrimônio, onde bens de valor histórico, ambiental, arquitetônico, cultural e ambiental são protegidos contra descaracterização ou destruição. É uma ação realizada pelo poder público, através de uma legislação específica, com o objetivo de proteger e preservar o patrimônio cultural. Este processo pode incluir ações como restauro, manutenção, e até mesmo proibição de alterações ou demolicões no bem tombado. O tombamento é uma forma importante de garantir a preservação da memória e da identidade cultural de uma sociedade (GHIRARDELLO, 2008 apud SILVA; CRISTOFOLI; BENINI, 2021).

É importante lembrar que a preservação do patrimônio não depende exclusivamente do tombamento. Ações como a manutenção, restauro e conservação podem ser tomadas para proteger e preservar os bens culturais, mesmo que eles não estejam tombados. No entanto, o tombamento tem uma importância legal e garante a proteção de bens culturais de forma mais eficiente e segura. O tombamento é uma ação do poder público, através de uma legislação específica, que oficializa a proteção de bens de valor histórico, arquitetô-

nico, cultural e ambiental. Ele cria uma obrigação legal de preservação, pois é a garantia da proteção dos bens culturais. Isso significa que, além de estabelecer medidas para a preservação, o tombamento também pode proibir ou restringir ações que possam prejudicar ou destruir o bem tombado. Portanto, o tombamento é uma forma importante de garantir a preservação do patrimônio e da identidade cultural de um povo. Ele é uma ferramenta legal que protege e preserva os bens culturais, garantindo sua continuidade e perpetuidade para as gerações futuras (MELO; CARDOZO, 2015 apud SILVA; CRISTOFOLI; BENINI, 2021).

Espaços culturais, históricos e arqueológicos, como museus e castelos, podem se beneficiar da utilização da Internet das Coisas (IoT) para melhorar a experiência de visitação. Os visitantes desses locais têm diferentes motivações, expectativas e necessidades, e a IoT pode ser usada para oferecer diferentes experiências de visitação, como guias específicos ou atividades educativas. Além disso, a IoT também pode ser usada para melhorar a interação dos visitantes com os objetos e espaços no local, bem como para facilitar a navegação no espaço. Para suportar esses casos de uso, diferentes arquiteturas de IoT podem ser definidas. Por exemplo, um sistema de IoT pode ser criado para gerenciar a interação dos visitantes com os objetos no espaço cultural, fornecendo informações relevantes e permitindo que os visitantes obtenham o nível de detalhe e perspectiva desejados. Outra abordagem é a utilização de sistemas de recomendação móveis baseados em dados semânticos para fornecer informações contextuais aos visitantes sobre o patrimônio cultural. Além disso, a IoT também pode ser usada em espaços culturais ao ar livre, como um sistema de inteligência ambiental baseado em agentes que fornece informações sobre pontos próximos de interesse aos visitantes, com base em sua localização. Em resumo, a IoT pode ser usada em espaços culturais, históricos e arqueológicos para melhorar a experiência de visitação e oferecer uma ampla gama de opções e recursos para os visitantes, ao mesmo tempo em que aumenta a interação e a compreensão do patrimônio cultural. Gonzalez et al. (2020)

As tecnologias que permitem a produção de modelos digitais 3D evoluíram muito nos últimos anos, e os custos foram significativamente reduzidos. Isto levou a uma expansão das possibilidades de aplicações industriais para as quais a tecnologia foi desenvolvida, para outros setores como o Patrimônio Cultural. O principal interesse está centrado na possibilidade de gerar um molde virtual de três dimensões de alta qualidade de uma obra, arquitetônica ou arqueológica, que por sua vez pode ser utilizado para diferentes aplicações, incluindo: monitoramento dimensional, que pode ser útil para esculturas sujeitas a danos causados por elementos ambientais e poluição; representação multimídia de obras de arte, permitindo o acesso a partes que normalmente não são acessíveis em um museu ou visita, inclusive remoto e off-site; medir, selecionar e analisar obras de históricas para fins de estudo histórico/artístico e documentação para restauro. Dentre as várias razões pelas quais o interesse na modelagem 3D vem aumentando inesperadamente no campo da

preservação do patrimônio cultural, desde as primeiras tentativas propostas pelo Conselho Nacional de Pesquisa do Canadá (NRCC) na década de 1980, a literatura internacional relatou recentemente uma série de aplicações importantes. Depois dos primeiros sistemas baseados em laboratório, a digitalização in loco com câmera de alcance portátil começou a aparecer em meados dos anos noventa, dando origem aos primeiros projetos de modelagem de estruturas de grande porte Guidi, Beraldin e Atzeni (2004).

O turismo cultural e patrimonial é um modo de turismo que é muito motivado pelo interesse em patrimônio histórico e ofertas culturais de uma cidade ou região, sendo também um desejo de encontrar autenticidade, e vivenciar a cultura local. Os destinos urbanos são de grande interesse para turistas culturais, sendo este muito nutrido por seus benefícios econômicos e sociais; podemos considerar que o desenvolvimento cultural produz grandes benefícios, revigorando culturas por meio de reviver costumes que já se encontram, muitas vezes, apagados. Todavia, o desenvolvimento de turismo patrimonial e cultural tem criado problemas em relação a utilização do espaço, oferecendo um impacto direto na experiência dos turistas e pessoas relacionadas. A AR foi considerada como uma solução para problemas em relação a utilização do espaço, pois a AR tem potencial para criar um espaço virtual, armazenando e exibindo as informações relevantes para os turistas. A AR no turismo pode ser utilizada para ajudar os turistas a acessar informações e melhorar seus conhecimentos sobre uma atração ou destino turístico, enquanto aprimora a experiência turística e oferecendo níveis de entretenimento cada vez mais elevados Cranmer e Jung (2014).

As Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC), como a Modelagem da Informação da Construção (BIM), têm sido altamente beneficiadas na construção civil recente, especialmente para edificações complexas. No entanto, esses benefícios são aplicados principalmente às novas edificações. Com o aumento de reformas e manutenção de edifícios existentes, incluindo adaptações para habitabilidade e sustentabilidade, as edificações consideradas patrimônio cultural têm se beneficiado menos dessas novas TIC. Portanto, é necessário elaborar um diagnóstico e documentação adequados para essas edificações para melhorar seu desempenho, funcionalidade e qualidade ambiental. A tecnologia BIM pode ser uma ferramenta potencial para produzir um inventário abrangente que considere os requisitos de manutenção dessas edificações. Pesquisas de pós-doutorado financiadas pela FAPESP e desenvolvidas na University of Southern California (USC) tiveram como objetivo desenvolver metodologias para a elaboração de modelos BIM de edifícios históricos que permitam o compartilhamento e visualização de suas características físico-estruturais e dados históricos Dezen-Kempton et al. (2015).

2.2.1 Indústria 4.0 e seu Impacto no Patrimônio Cultural

A evolução das técnicas industriais, produtivas e comerciais estão fortemente ligadas às Revoluções Industriais, sendo possível observar a transição do trabalho artesanal e

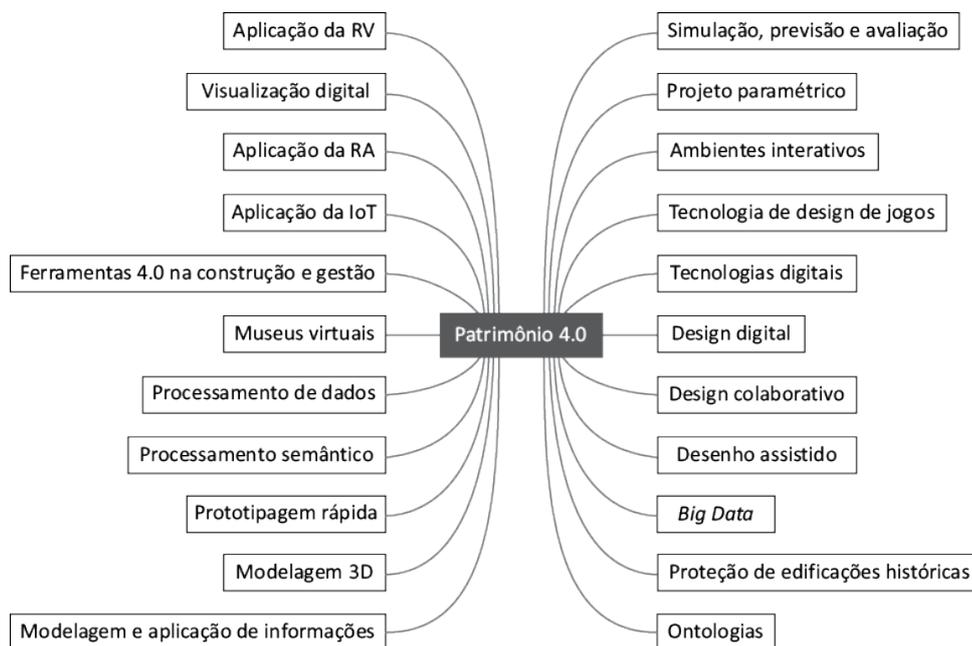
braçal para o trabalho mecanizado, automatizado e computadorizado (SACOMANO et al., 2018). A computação vem sofrendo grandes evoluções não só em capacidade de processamento, mas também em seu tamanho físico, com chips e componentes cada vez menores e mais compactos. Componentes que vem sendo cada vez mais acrescentados aos processos, sistemas e estruturas Quintino et al. (2019).

A Quarta Revolução Industrial tem como objetivo consolidar os conceitos fundados na Terceira Revolução Industrial, confirmando a amálgama entre o mundo físico e o mundo virtual, com o crescimento do uso de automação, grandes Bancos de Dados, Internet das Coisas (IoT) e outros elementos Sacomano et al. (2018).

Antes da disseminação do uso de tecnologias IoT, sensores simples eram mais amplamente utilizados, sendo estes capazes de monitorar mudanças de temperatura, qualidade do ar, movimento, sem haver qualquer planejamento no que tange a transferência desses dados para a rede, oferecendo apenas a coleta de dados de forma mais direta e simplória. A evolução destas tecnologias e o crescimento do potencial da gestão inteligente de dados através de Big Data tornou possível que esses indicadores sejam enviados e gerenciados na rede de forma cada vez mais integrada e inteligente. Somado a isso, o desenvolvimento de técnicas de modelagem de dados criou espaço para novos métodos de armazenamento de dados, sendo possível estudá-los de maneira multi temática, organizando-os de forma semântica e desenvolvendo métodos de virtualização ainda mais apurados, assumindo assim, formas mais autônomas e livres dos pontos geradores destes dados Gonçalves (2022).

Tal cenário oferece novas abordagens para o campo de construção, arquitetura e gestão patrimonial; Reconstruções virtuais agora possuem alta precisão de representação do real, sendo muito utilizados em processos de documentação histórica e também na criação de ambientes virtuais interativos, com a finalidade de prover a experiência de visitar um local histórico com o uso da tecnologia. Ainda, os processos de virtualização poderão contar com sistemas de monitoramento com a aplicação de visão computacional e modelagens 3D como possibilidade de visualização de artefatos ; Sendo possível criar experiências de “viagens no tempo”, levando o usuário a lugares, cidades e prédios históricos com o uso de realidade aumentada Gonçalves (2022), conforme Figura 3.

Figura 3 – Campos de Atuação da Indústria 4.0 no Patrimônio



Fonte:Gonçalves (2022)

Dentro do campo de Patrimônio Histórico, a implementação de conceitos da Indústria 4.0 se torna irreversível, tendo um impacto na relação entre os usuários e o bem material, sendo possível o compartilhamento de conhecimentos e atividades para um grande público de maneira personalizada. A incorporação do campo do patrimônio com as novas tecnologias vem ampliando o campo de comunicação, documentação, monitoramento e análise de bens e valores culturais. Sendo assim, uma experiência cultural pode ser acessada em qualquer parte do mundo, criando novas experiências e possibilidades para agregar conhecimento. As tecnologias digitais terão enorme impacto na gestão e processos operacionais de patrimônio, auxiliando na prevenção de riscos e manutenção; Isso se torna possível, pois, os indicadores de satisfação do usuário podem ser nutridos por meio de um sistema de coleta de avaliações em tempo real, possibilitando a criação de diversos serviços inovadores. Para o sucesso da implementação do Patrimônio 4.0, é de suma importância entendermos o ambiente existente. Primeiramente, conceitos como “estratégia digital” não estão distantes do que museus vem desenvolvendo, uma vez que, os espaços expositivos vêm aproveitando de procedimentos internos baseados em conteúdo digital. A quebra de padrões causada pela Indústria 4.0, dentro do contexto de patrimônio, como visto anteriormente, abrange muitas atividades relacionadas à produção de conteúdos e à condução de estratégias de aproximação do meio digital com o meio físico. Ao pensar que esse novo cenário afeta a cultura, e essa cultura afetada cria uma nova cultura digital, é possível perceber grande potencial de reaproximar as pessoas de suas bases identitárias. Vale salientar que a tecnologia deve ser aplicada de forma integrada ao contexto do Pa-

trimônio em uma relação simbiótica. Recursos tecnológicos devem se mostrar presentes de forma discreta, de forma a não se sobressaírem ao valor do Patrimônio, de forma fascinante e flexível, valorizando o bem ainda mais, destacando sua divulgação, documentação e conservação, mirando entregar novas experiências em qualquer lugar ou hora Gonçalves (2022).

2.2.2 Desafios da Indústria 4.0 para o Patrimônio Cultural

Diante deste cenário de inovação, fica evidente que a tecnologia conduziu a possibilitou novas oportunidades para a melhorias em construção civil, seus produtos e processos. Em Arquitetura, Engenharia e Construção, os modelos de informações 3D logicamente ricos são usados com crescente frequência, com diversas aplicações, incluindo planejamento e uso do espaço, gestão da conservação e manutenção de edificações. No momento, a gestão da informação para patrimônio arquitetônico se beneficiou grandemente com a utilização de HBIM para modelagem de edificações e lugares históricos, por apresentarem complexidade e unicidade, se demonstrando um tópico de grandes possibilidades Gonçalves (2022).

A modelagem a partir de nuvens de pontos obtidos pela fotogrametria ou escaneamento digital com o uso de laser, sendo uma questão desafiadora o fato de haver a necessidade de reconstrução automática e inteligente dos modelos digitais. O processo computacional ainda é custoso, sendo necessária a tentativa de aliviar a carga de dados com o uso de ferramentas para geração semiautomática, sendo estas ainda em estágio de desenvolvimento; sendo assim, até que os processos automatizados sendo validados, os sistemas HBIM se mostram como soluções ainda demoradas e caras (BRUSAPORCI; MAIEZZA; TATA, 2018). A melhoria do processo de modelagem em HBIM vem se direcionando para o desenvolvimento e o uso de algoritmos de machine learning para reconhecimento de características de superfícies construídas, utilizando dados de pontos densos e tridimensionais obtidos com escâneres a laser Xiong et al. (2013).

Progressivamente nas últimas décadas, as técnicas de modelagem 3D evoluíram rapidamente. Em relação ao HBIM, o gerenciamento de grandes bancos de dados se destacam como importante tópico de pesquisa, juntamente com a parametrização para modelagem 3D de elementos cada vez mais complexos, como ornamentos e artefatos históricos, irregularidades geométricas em edificações, sendo estas capazes de acusar deslocamentos e deformações estruturais resultantes de técnicas de construções antigas Nazarena e Roncella (2019).

De acordo com um estudo realizado pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Institut der deutschen Wirtschaft), cerca de 20 a 30% dos empregos industriais na Alemanha podem ser substituídos por tecnologia até 2025. Outro estudo, realizado pela Universidade de Oxford, estima que cerca de 47% dos empregos nos Estados Unidos podem ser automatizados em algum momento no futuro. No entanto, é importante notar que a indústria 4.0 também pode criar novos empregos, como no desenvolvimento e manu-

tenção de tecnologias avançadas. Além disso, a transição para a indústria 4.0 pode exigir que os trabalhadores atuais adquiram novas habilidades e conhecimentos, o que pode levar a oportunidades de treinamento e reciclagem profissional Frey e Osborne (2017).

A Proteção de dados e privacidade também se mostra um grande desafio junto da Indústria 4.0 e patrimônio cultural pois esta depende fortemente da coleta e processamento de dados, o que pode levantar questões de proteção de dados e privacidade. É importante garantir que os dados dos visitantes e dos próprios patrimônios culturais sejam protegidos de maneira adequada. Além disso, a Inclusão digital também deverá se mostrar como um desafio, pois, a Indústria 4.0 está criando novas oportunidades, mas também pode excluir aqueles que não têm acesso à tecnologia ou habilidades digitais. É importante garantir que o patrimônio cultural esteja disponível para todos, independentemente do acesso à tecnologia. A preservação do patrimônio cultural é um desafio central, tendo em vista que a tecnologia pode ser útil na preservação do patrimônio cultural, mas também pode criar novos riscos. Por exemplo, a dependência excessiva da tecnologia para a preservação pode levar à perda de habilidades manuais ou tradicionais. É importante encontrar um equilíbrio entre a tecnologia e as práticas tradicionais de preservação. Também é necessário observar impacto econômico causado pela Indústria 4.0, pois pode ocasionar em um impacto econômico tanto positivo quanto negativo no setor do patrimônio cultural. Por um lado, a tecnologia pode aumentar a eficiência e aumentar a receita, mas também pode levar à automação de certas tarefas e à perda de empregos. É importante garantir que o impacto econômico seja equilibrado SCHWAB (2016).

Um dos principais desafios é a necessidade de habilidades e qualificações de alta tecnologia de seus trabalhadores. Essas habilidades incluem habilidades de resolução de problemas, análise de falhas, capacidade de lidar com mudanças constantes e tarefas completamente novas. Além disso, os trabalhadores devem ser capazes de testar tecnologias específicas da Indústria 4.0, como a coleta, processamento e visualização de dados do processo de fabricação (UNGER; BÖRNER; MÜLLER, 2017 apud MOHAMED, 2018).

A falta de habilidades adequadas pode se tornar um problema particularmente grave devido ao fato de que atualmente existem poucos estudos na área de ensino de engenharia e gestão, e que as necessidades dos alunos e da força de trabalho industrial estão mudando rapidamente. Isso significa que as organizações podem enfrentar dificuldades para encontrar trabalhadores qualificados para lidar com as tecnologias avançadas da Indústria 4.0 (MOTYL et al., 2017 apud MOHAMED, 2018).

Outros desafios para as organizações incluem a necessidade de adaptar suas estruturas de gestão e modelos de negócios para aproveitar ao máximo as oportunidades oferecidas pela Indústria 4.0. Isso inclui o desenvolvimento de novos modelos de negócios, como a criação de serviços baseados em dados, e a adaptação às mudanças no mercado e na cadeia de valor. Em geral, as organizações precisam estar preparadas para enfrentar uma série de desafios complexos se quiserem tirar proveito da Indústria 4.0 e se adaptar às

mudanças em curso no mundo dos negócios Mohamed (2018).

A digitalização do patrimônio cultural é um processo complexo que envolve muitos desafios. Um estudo realizado na Etiópia identificou os principais desafios para a digitalização do patrimônio cultural naquele país. Os entrevistados foram convidados a responder 8 declarações diferentes usando métodos de avaliação em escala Likert. Os resultados obtidos mostraram que a falta de plano de digitalização do patrimônio cultural, política e procedimentos foi o desafio mais mencionado, com 64% dos entrevistados concordando totalmente. Além disso, a falta de profissionais para digitalizar heranças culturais, falta de conhecimento para selecionar elementos de metadados, falta de materiais de tecnologia digital, falta de fundos e falta de direitos autorais e políticas de propriedade intelectual também foram desafios mencionados pelos entrevistados Adane, Chekole e Gedamu (2019).

2.2.3 Modelagem 3D aplicada ao Patrimônio Cultural

O conceito de patrimônio virtual consiste no uso de tecnologias para registrar, modelar e visualizar o patrimônio cultural e natural. Isso inclui um processo amplo e complexo que vai desde a documentação do patrimônio estudado, até a construção de modelos tridimensionais (3D), passando pela disseminação e pelo uso/apropriação pelos usuários interessados. É importante destacar que o patrimônio virtual não se limita à tarefa de modelagem 3D, mas também inclui o uso de novas ferramentas para documentação e registro do patrimônio, como o HBIM (Historic Building Information Modeling), ações que envolvam realidade aumentada, mista ou até mesmo a combinação dessas ferramentas. Isso permite uma documentação mais precisa e detalhada do patrimônio cultural e natural, além de facilitar a sua preservação e disseminação para o público Vilela, Lopes e Lima (2021).

A modelagem digital é uma área de tecnologia que se dedica a criar representações digitais de objetos, edifícios, paisagens e outros elementos do mundo real. Essas representações podem ser utilizadas para diversas finalidades, como simulações, análises, visualizações e prototipagem. A visualização 3D é uma das técnicas mais importantes utilizadas na modelagem digital, pois permite que os usuários explorem e interajam com as representações de forma mais realista e intuitiva. Nos últimos anos, a modelagem digital passou por um processo de resignificação, ampliando sua aplicação para campos como a pesquisa, educação patrimonial, entretenimento e comércio eletrônico. A visualização 3D, por exemplo, passou a ser utilizada para criar simulações para treinamento de profissionais, para ajudar a preservar e divulgar patrimônios culturais, para criar jogos e filmes, e para apresentar produtos em lojas virtuais Gonçalves (2022).

As tecnologias para a criação de modelos digitais de realidade têm evoluído rapidamente, sendo ideais para preservar e restaurar o patrimônio cultural. A digitalização 3D é uma tecnologia importante para produzir modelos 3D digitais de artefatos do pa-

patrimônio cultural, desde pequenos objetos até edifícios ou cidades históricas. O Projeto Michelangelo Digital foi pioneiro no uso da computação gráfica no patrimônio cultural, e a tecnologia tem continuado a melhorar. Essas tecnologias têm o potencial de revolucionar o campo do patrimônio cultural, mas isso dependerá de maior disponibilidade de modelos 3D amostrados, dispositivos de digitalização baratos e ferramentas de processamento de dados 3D. A maioria dos aplicativos do patrimônio cultural ainda se concentra na visualização, mas o maior desafio é desenvolver ferramentas que utilizem modelos 3D para auxiliar na pesquisa e planejamento de restauração. Estudos anteriores já demonstraram a utilidade dos modelos 3D para avaliar o estado de conservação e documentar a restauração Scopigno et al. (2011).

A introdução de novos dispositivos de medição, como os scanners laser 3D, fotogrametria esférica, estrutura a partir do movimento de fotogrametria e outros métodos recentes de modelagem, tem causado uma grande mudança no modo de aquisição, tratamento e restituição de informações métricas. Essas novas técnicas permitem a construção de modelos digitais 3D fotorrealistas que podem ser usados como sistemas de informação e auxílio para modelagem estrutural. O modelo digital se torna uma ferramenta operacional que pode ser implementada em novos sistemas de informação capazes de lidar com dados complexos e tipologicamente heterogêneos, tanto para edifícios como para grandes áreas geográficas. O processo de construção de modelos 3D a partir de fotografias geralmente inclui quatro etapas principais: alinhamento da câmera, construção de nuvem de pontos densa, construção de malha e ajuste da malha; Ferramentas de software são comumente utilizadas para esses procedimentos Barrile, Bilotta e Lamari (2017).

A primeira etapa é o alinhamento da câmera, onde o software busca pontos comuns nas fotografias para mesclá-las e formar uma nuvem de pontos dispersos e uma série de capturas. A segunda etapa é a construção de uma nuvem de pontos densa, onde as posições da câmera são utilizadas para gerar uma nuvem de pontos mais detalhada. A terceira etapa é a construção de uma malha, onde o software reconstrói a superfície do objeto com base na densa nuvem de pontos da etapa anterior. Por fim, pode ser necessário ajustar a malha, e o software permite algumas correções e, para uma edição mais detalhada, outro software pode ser usado. A malha pode então ser importada de volta para o software por meio de formatos de intercâmbio comuns Barrile, Bilotta e Lamari (2017).

O levantamento de edifícios existentes é um processo de engenharia reversa que busca reconstruir e interpretar o projeto original a partir das informações obtidas do objeto real. Esse processo depende fortemente de levantamentos manuais, como a utilização de câmeras digitais, fitas métricas e dispositivos de medição a laser para verificar as condições de construção existentes e gerar desenhos e modelos como o construído. Em edificações históricas, o problema se torna mais complexo devido à falta de projetos originais e registros das alterações ao longo do tempo. As tecnologias de sensoriamento remoto e varredura apresentam-se como alternativas mais precisas e rápidas para esses procedi-

mentos de levantamento. O levantamento de edifícios existentes é uma etapa importante na engenharia, pois permite identificar problemas estruturais, acessibilidade, segurança e outras questões relevantes para a manutenção e conservação do edifício. Ele também é essencial para projetos de reforma, ampliação ou adaptação de edifícios, pois fornece informações sobre as condições atuais do edifício, permitindo que os projetos sejam desenvolvidos de forma adequada e eficiente. Os métodos tradicionais de levantamento, como medição direta, são eficientes para edifícios comuns, mas podem se tornar caros, demorados e incapazes de registrar fielmente as peculiaridades de edifícios históricos. A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e varredura, por outro lado, permite coletar grandes quantidades de informações de forma rápida e precisa, registrando a forma real dos objetos, suas irregularidades e imperfeições decorrentes do processo construtivo, e as deformações e desgastes decorrentes do ciclo de vida do edifício. Além disso, essas tecnologias também podem ser usadas para monitorar a condição do edifício ao longo do tempo, detectando problemas estruturais ou de conservação precocemente e permitindo que as medidas de manutenção sejam tomadas antes que se tornem graves. Portanto, o levantamento de edifícios existentes é um processo crítico na engenharia que permite identificar problemas e desenvolver projetos adequados para a manutenção e conservação de edifícios. A utilização de tecnologias de sensoriamento remoto e varredura é uma alternativa precisa e eficiente para os métodos tradicionais de levantamento, especialmente em edifícios históricos Dezen-Kempter et al. (2015).

Ainda relacionado a modelagem 3D de edificações, é possível visualizar que, com o avanço da tecnologia e o aumento da quantidade de dados disponíveis, os modelos de cidade 3D estão sendo utilizados para uma variedade de aplicações além da simples visualização. Por exemplo, eles podem ser usados para simulação e análise de fluxo de tráfego, gerenciamento de emergências, planejamento urbano, gerenciamento de resíduos, monitoramento de desastres, gerenciamento de recursos hídricos e energéticos, além de muitos outros. Os modelos de cidade 3D também podem ser integrados com outros dados geoespaciais, como mapas topográficos, dados de sensoriamento remoto, informações de redes de transporte e serviços públicos, dados de clima e outros. Isso permite uma análise mais completa e precisa do ambiente urbano e suas dinâmicas. Além disso, os modelos de cidade 3D podem ser compartilhados e acessados por vários usuários e dispositivos, incluindo computadores, smartphones e tablets, o que torna a colaboração e a tomada de decisão mais fáceis e eficientes. Sendo assim, os modelos de cidade 3D são uma ferramenta valiosa para a compreensão e gerenciamento do ambiente urbano. Eles fornecem uma representação precisa e detalhada da cidade e podem ser usados para uma variedade de aplicações, desde a simples visualização até a análise avançada e gerenciamento de recursos Biljecki et al. (2015).

3 Metodologia

A presente monografia tem como objetivo explorar as oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico, verificando seus desafios e oportunidades, e, realizando um estudo de caso relacionado aos assuntos abordados na monografia. Para atingir esse objetivo, foi adotada a seguinte metodologia de pesquisa:

- coleta de dados: a pesquisa foi realizada através de uma revisão bibliográfica de livros, artigos científicos e outros materiais relevantes sobre o tema. Além disso, foi realizado estudo de caso que envolvia a modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões; A coleta de dados foi realizada de forma sistemática e organizada, seguindo uma metodologia específica para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados obtidos. Todas as fontes foram rigorosamente avaliadas quanto à sua relevância e pertinência para o estudo, e apenas aquelas que atendiam aos critérios de seleção estabelecidos foram incluídas na análise.
- análise dos dados: os dados coletados foram analisados de forma sistemática, buscando identificar e categorizar as principais oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico. Foi realizada apenas análise qualitativa da informação, utilizando técnicas como análise de conteúdo, para interpretar os dados coletados e chegar a conclusões sobre o tema. A análise qualitativa foi escolhida devido à sua natureza exploratória e interpretativa, que permite aprofundar o entendimento sobre o tema em questão e identificar as variações e particularidades do assunto. Além disso, a análise qualitativa é particularmente adequada para estudar o impacto da indústria 4.0 na gestão de patrimônio histórico, já que permite analisar as mudanças nas práticas de gestão e nas percepções dos profissionais envolvidos. Sendo assim, o trabalho trata-se de uma pesquisa descritiva, na qual houve análise de dados indutiva, onde o significado e importância da pesquisa é o principal foco.
- elaboração do texto: com base na análise dos dados coletados, foi elaborado o texto da monografia, dividido em capítulos temáticos. O texto foi revisado e ajustado de acordo com as recomendações de um orientador. Ao longo da redação do texto, foram inseridas as referências bibliográficas e as citações no texto, seguindo as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Foi também incluído o índice geral e lista de figuras e demais elementos necessários para a apresentação final da monografia. Por fim, o texto final foi revisado para correção de eventuais erros ortográficos ou de formatação. Após a aprovação do orientador, a monografia estava pronta para a defesa e apresentação final.

- estudo de caso: o estudo de caso foi realizado de maneira a comprovar e evidenciar, de maneira prática, as capacidades e melhorias que podem ser alcançadas pela implementação das tecnologias de indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico. O estudo trata-se da modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões localizada em Ouro Preto - MG. A Igreja Nossa Senhora das Mercês e Perdões, também conhecida como Igreja Mercês de Baixo, é uma construção histórica localizada em Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil. Ela foi edificada entre 1740 e 1772 e passou por reforma no meio do século XX. A igreja foi construída no local onde já existia a Capela do Senhor Bom Jesus dos Perdões. O famoso escultor Aleijadinho recebeu a importância de seis oitavas de ouro por pagamento do risco da capela-mor. A igreja é composta por um altar-mor, coro, quatro altares laterais e dois púlpitos esculpidos em madeira. O interior da igreja é decorado com ornamentos e esculturas esculpidas em madeira, o que a torna um exemplo importante da arte barroca brasileira. Para atingir o objetivo de modelar a igreja em um objeto virtual tridimensional, foi utilizado um drone com câmera para a captura de imagens e de pontos, sendo estes dados carregados no computador para processamento gráfico, e então, com a utilização de software próprio, o modelo 3D é apresentado, demonstrando grande detalhamento da edificação. O modelo 3D pode ser armazenado digitalmente, criando possibilidades de preservação, possibilitando consulta para reformas futuras e reconstruções em caso de desastres que possam danificar o bem histórico.

Segundo Venazi et al. (2016) as pesquisas em geral podem ser classificadas como sendo de natureza básica ou aplicada, abordagem qualitativa ou quantitativa, objetivos de pesquisa descritiva, explicativa ou exploratória; E os procedimentos técnicos tratam-se de estudo de campo, estudo de caso, levantamento, pesquisação, pesquisa bibliográfica, pesquisa documental e pesquisa experimental. Portanto, a presente monografia tem natureza aplicada, com a efetiva aplicação dos conhecimentos adquiridos para a realização do estudo de caso; a abordagem é qualitativa, tendo o ambiente como fonte direta para a coleta de dados e aplicação do estudo, sendo a Igreja Nossa Senhora das Mercês e Perdões o ambiente de coleta destes dados. O objetivo é de uma pesquisa exploratória, pois a pesquisa evidencia as possibilidades, demonstrando as capacidades tecnológicas que poderão ser utilizadas e implementadas na gestão de patrimônio histórico e demonstrando oportunidades e desafios da Indústria 4.0 para patrimônio histórico e cultural, permitindo construir hipóteses sobre o tema, além de haver levantamento bibliográfico e estudo de caso, gerando uma conclusão geral sobre o tema. O procedimento técnico trata-se de um estudo de caso, com a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante a pesquisa, objetivando a demonstração das possibilidades de aplicação das oportunidades exploradas ao longo da monografia. A escolha por realizar um estudo de caso foi justificada pela necessidade de obter uma visão ampla e atualizada sobre o tema, bem como de contextualizar as oportunidades e desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico,

evidenciando a possibilidade de aplicação das tecnologias. Além disso, a realização de um estudo de caso permitiu a obtenção de informações mais aprofundadas e específicas sobre o tema, contribuindo para reforçar os objetivos iniciais da monografia e evidenciando de maneira prática as oportunidades da indústria 4.0 para patrimônio histórico.

4 Apresentação e discussão dos resultados

Em resumo, a Indústria 4.0 oferece muitas oportunidades para melhorar a gestão de patrimônio histórico e cultural, mas também traz desafios importantes que precisam ser levados em conta durante a implementação dessas tecnologias. É importante considerar cuidadosamente esses desafios e trabalhar para encontrar soluções que garantam a preservação e acessibilidade dos bens patrimoniais para as gerações futuras. Para confirmar as possibilidades e oportunidades da Indústria 4.0 para o patrimônio histórico e cultural, foi realizado um estudo de caso de modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões em Ouro Preto - MG

4.1 Verificação de Oportunidades da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural

A Indústria 4.0 representa uma nova fase da produção industrial que combina tecnologias avançadas como a automação, inteligência artificial, realidade aumentada, Internet das Coisas e realidade aumentada para melhorar a eficiência e flexibilidade dos processos de produção.

A aplicação dessas tecnologias pode trazer oportunidades significativas para a gestão de patrimônio histórico e cultural. A realidade aumentada, por exemplo, pode ser usada para fornecer informações adicionais sobre os objetos e locais históricos, permitindo uma experiência mais rica e imersiva para os visitantes. Além disso, as tecnologias de HBIM (Building Information Modelling) podem ser usadas para modelar e gerenciar edifícios históricos, permitindo que as equipes de conservação e restauração planejem e execute projetos de manutenção e reparação com mais precisão.

A internet das coisas (IoT) pode ser usada para monitorar e gerenciar os bens patrimoniais, permitindo que os responsáveis pela gestão do patrimônio tenham acesso às informações em tempo real e possam tomar decisões mais informadas sobre como preservar e proteger esses bens. Os sensores IoT, por exemplo, podem ser usados para medir a temperatura, umidade e outras variáveis ambientais, e alertar os responsáveis se esses valores estiverem fora dos limites aceitáveis.

A realidade virtual e aumentada também podem ser usadas para aumentar a acessibilidade a bens patrimoniais e proporcionar uma experiência mais imersiva para os visitantes. Por exemplo, a realidade virtual pode ser usada para recriar ambientes históricos ou para mostrar como os bens patrimoniais eram usados em sua época original. A realidade aumentada, por sua vez, pode ser usada para superpor informações e detalhes sobre os bens patrimoniais sobre imagens reais.

O uso do HBIM (Historical Building Information Modeling) no patrimônio histórico

cultural apresenta inúmeras oportunidades para preservar e proteger esses edifícios valiosos. A tecnologia permite a criação de modelos digitais precisos e detalhados que capturam informações sobre a história, a arquitetura e a construção do edifício, o que é fundamental para a tomada de decisões informadas sobre sua conservação e restauração. Além disso, o HBIM facilita a colaboração entre equipes de conservação e restauração, garantindo uma abordagem integrada para a preservação do patrimônio histórico cultural. A tecnologia também permite a simulação de cenários futuros, como incêndios e desastres naturais, ajudando a identificar possíveis riscos e a tomar medidas preventivas. Em resumo, o uso do HBIM oferece uma oportunidade única de preservar e proteger o patrimônio histórico cultural para as gerações futuras.

É importante lembrar que as tecnologias que compõem a indústria 4.0 são completamente interconectadas e a combinação delas trazem ainda mais oportunidades para a gestão de patrimônio histórico e cultural. Dentro das oportunidades oferecidas pela indústria 4.0, é importante salientar que existem muitas soluções acessíveis, que não demandam grandes investimentos iniciais. Em paralelo, existem soluções caras, mas também existem soluções de valores de investimento baixo. As tecnologias empregadas, com o passar do tempo, se tornam mais baratas e mais acessíveis, o que reforça a necessidade de que a adaptação e preparação para a utilização destas tecnologias seja feita de maneira imediata; o fato de existirem soluções caras não deve impedir que as secretarias de preservação do patrimônio deixem de se preparar para a transição tecnológica.

A criação de um laboratório de patrimônio 4.0 e modelagem 3D na Universidade Federal de Ouro Preto e na cidade de Ouro Preto-MG é de extrema importância, pois ajudará a preservar e difundir o rico patrimônio histórico e cultural da região. A tecnologia 4.0 e a modelagem 3D permitirão uma maior interação e acessibilidade a esses locais, ampliando o conhecimento e a valorização desses patrimônios. Além disso, também será possível realizar estudos e pesquisas mais precisos e detalhados, garantindo a proteção e a perpetuação dessas riquezas para as gerações futuras.

Outro aspecto importante é a capacitação de jovens e profissionais em tecnologias avançadas de preservação de patrimônio. A Universidade Federal de Ouro Preto é uma instituição de ensino renomada e, ao criar este laboratório, estará possibilitando a formação de profissionais capacitados e preparados para atuar na preservação do patrimônio cultural e histórico do Brasil.

Além disso, a criação deste laboratório de patrimônio 4.0 e modelagem 3D contribuirá para o desenvolvimento econômico e turístico de Ouro Preto e região. Com a valorização e difusão do patrimônio cultural, a região poderá se tornar ainda mais atrativa para visitantes, contribuindo para o aumento do turismo e, conseqüentemente, para o desenvolvimento econômico da cidade e região. A criação deste laboratório é uma oportunidade única para a preservação, valorização e difusão do patrimônio cultural de Ouro Preto e região.

A Indústria 4.0 é uma transformação tecnológica que tem o potencial de mudar profundamente a forma como a indústria e as cidades funcionam. Ouro Preto, ao se tornar uma smart city, pode aproveitar essas oportunidades para melhorar a qualidade de vida de sua população, aumentar a eficiência econômica e ambiental e atrair investimentos e turistas. Algumas dessas oportunidades incluem:

Otimização de recursos: A Indústria 4.0 permite otimizar o uso de recursos, como energia, água e transporte, através de soluções inteligentes e conectadas. Isso pode ajudar a melhorar a eficiência e a sustentabilidade da cidade.

Inovação econômica: A Indústria 4.0 pode trazer novas oportunidades econômicas para a cidade, como a criação de empregos em setores de tecnologia e inovação, além de atrair investimentos em novas indústrias.

Conectividade e inclusão digital: A Indústria 4.0 pode ajudar a melhorar a conectividade e a inclusão digital na cidade, aumentando a eficiência e acessibilidade dos serviços públicos e a qualidade de vida da população.

Melhoria da qualidade de vida: A Indústria 4.0 pode ajudar a melhorar a qualidade de vida da população, através de soluções inteligentes em saúde, segurança e transporte, entre outras áreas.

4.2 Verificação de Desafios da indústria 4.0 para a gestão de patrimônio histórico e cultural

A implementação dessas tecnologias também traz desafios significativos para a gestão de patrimônio histórico e cultural. Uma preocupação é como assegurar a preservação dos bens patrimoniais ao longo do tempo, já que a tecnologia é dinâmica e pode ficar obsoleta. Além disso, há questões éticas sobre a coleta e uso de dados, incluindo a proteção da privacidade dos visitantes e a segurança dos dados armazenados. Ainda tem-se a questão de como garantir que os bens patrimoniais sejam acessíveis a todos, especialmente às pessoas com necessidades especiais, uma vez que essas tecnologias podem excluir certos grupos da sociedade.

Adicionalmente, a implementação da IoT também apresenta desafios significativos, como a necessidade de conectar e integrar diversos dispositivos e sistemas, a manutenção e reparação dos dispositivos, e a segurança dos dados coletados. Além disso, a internet das coisas gera grandes volumes de dados, que precisam ser armazenados, analisados e gerenciados. Isso pode representar desafios adicionais para os responsáveis pelo patrimônio histórico e cultural, que podem não ter o conhecimento técnico ou os recursos para lidar com essas questões.

A realidade virtual e aumentada também podem apresentar desafios significativos, como a necessidade de produzir conteúdo de alta qualidade e preciso, garantir acessibilidade para todos os usuários e assegurar a compatibilidade com diferentes dispositivos. Além disso, a simulação de ambientes históricos com precisão requer uma grande quan-

tidade de dados e recursos para produzir o conteúdo. Isso pode representar desafios adicionais para os responsáveis pelo patrimônio histórico e cultural, que podem não ter os recursos ou o conhecimento para produzir conteúdo de alta qualidade.

O uso do HBIM (Historical Building Information Modeling) no patrimônio histórico cultural apresenta desafios importantes, incluindo a integração de informações precisas e precisas sobre a idade e a história do edifício, a identificação de modificações e intervenções ao longo do tempo, e a integração de tecnologias avançadas, tais como análise estrutural e simulação de incêndios, com a preservação do caráter original do edifício. Além disso, o acesso limitado a locais históricos e o custo elevado de tecnologias digitais podem ser obstáculos para a implementação bem-sucedida do HBIM. No entanto, esses desafios são superados pelos benefícios do uso do HBIM, incluindo a facilidade de comunicação entre equipes de conservação e restauração, a melhoria da precisão e eficiência do planejamento e execução de projetos, e a garantia de preservação de longo prazo para o patrimônio histórico cultural.

A implementação e criação de um laboratório de patrimônio 4.0 na Universidade Federal de Ouro Preto e na cidade de Ouro Preto-MG é, sem dúvida, um grande desafio. Em primeiro lugar, o custo dos equipamentos necessários é elevado, o que requer uma grande quantidade de recursos financeiros para a sua aquisição. Como exemplo, a modelagem 3D realizada nesta monografia contou com equipamentos como drone e computador de processamento gráfico, equipamentos que podem custar na casa de milhares de reais, considerando que são tecnologias de ponta, porém com alto valor de produtividade e qualidade em resultados. Além disso, a tecnologia 4.0 é muito nova e está em constante evolução, o que significa que é necessário investir continuamente em atualizações e capacitação dos profissionais envolvidos.

Outro fator que torna a implementação deste laboratório um desafio é a falta de profissionais especializados em tecnologia 4.0 e modelagem 3D, o que pode tornar o processo de instalação e implantação do laboratório mais difícil e demorado. Além disso, a implantação deste tipo de tecnologia pode ser um desafio para o setor público, que frequentemente enfrenta dificuldades para obter recursos financeiros e para a contratação de profissionais capacitados.

Em conclusão, a implementação e criação de um laboratório de patrimônio 4.0 na Universidade Federal de Ouro Preto e na cidade de Ouro Preto-MG requer um esforço conjunto de recursos financeiros, capacitação profissional e investimento em tecnologia avançada. No entanto, é importante destacar que este é um esforço que vale a pena, uma vez que o resultado será a preservação e valorização do patrimônio histórico e cultural da região, além da formação de profissionais capacitados e da contribuição para o desenvolvimento econômico e turístico da cidade e região.

4.3 Modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto - MG

Para a Modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto-MG, o método utilizado foi o de modelagem com uso de imagens e pontos de posicionamento para processamento gráfico, com auxílio do software Agisoft Metashape; sendo estes dados capturados com um drone Dji Mini 2, conforme Figura 4, equipado com dispositivos de posicionamento e câmera, sendo este capaz de captar imagens em alta resolução, contribuindo para o nível de detalhamento do modelo final.

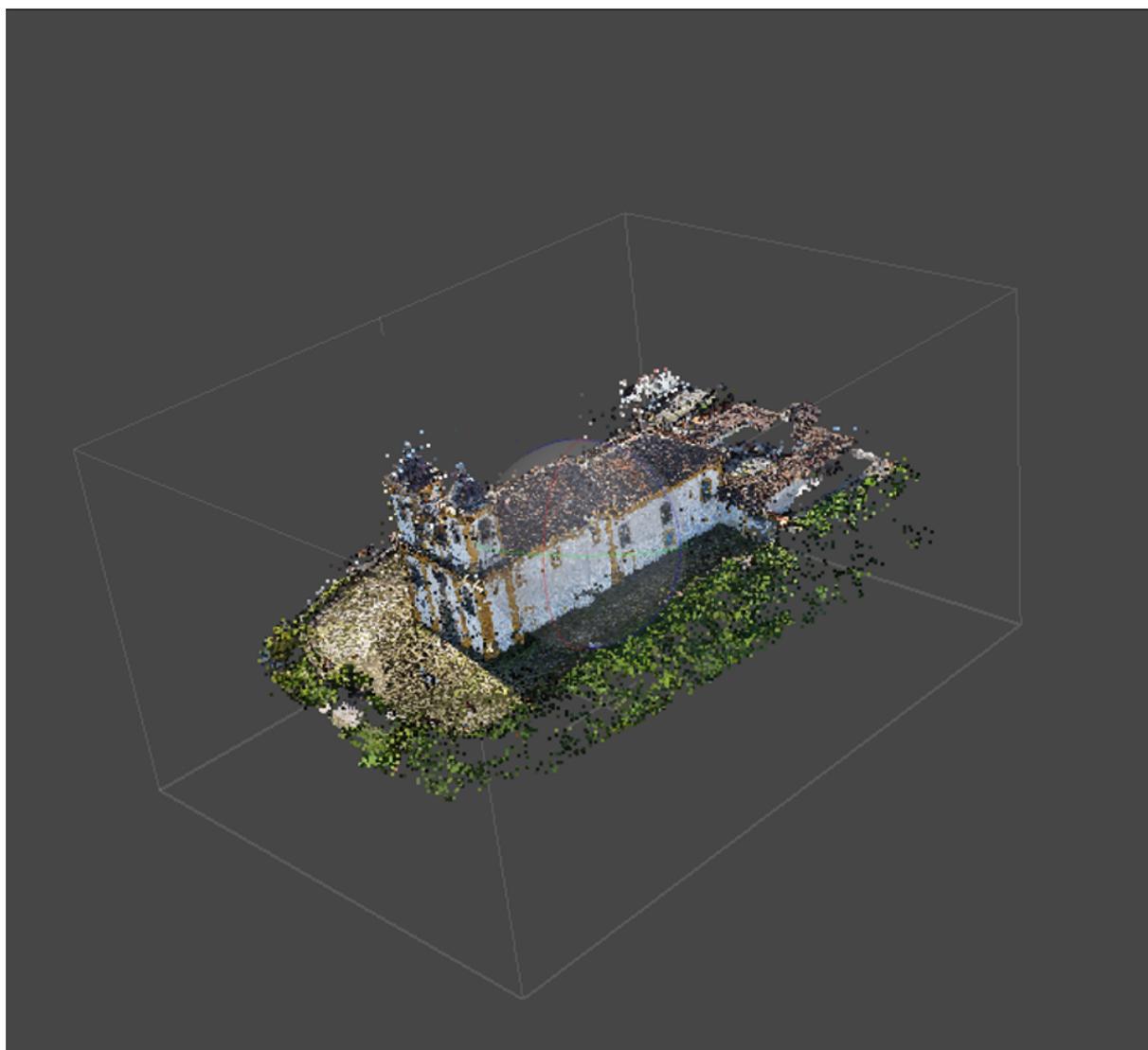
Figura 4 – Drone Dji Mini 2



Drone utilizado para captação de pontos e imagens.

A capacidade de captar os pontos de posicionamento também contribui grandemente para o processamento gráfico do modelo, sendo estes pontos utilizados para criar uma nuvem de pontos que, após longo prazo de renderização, tomam o formato da edificação que se deseja modelar tridimensionalmente. Os pontos de posicionamento do drone são captados e este dado é utilizado para demarcar cada um destes pontos dentro de um plano cartesiano tridimensional virtual, gerado em ambiente de trabalho do software, conforme Figura 5.

Figura 5 – Pontos no plano cartesiano virtual - Nuvem de pontos



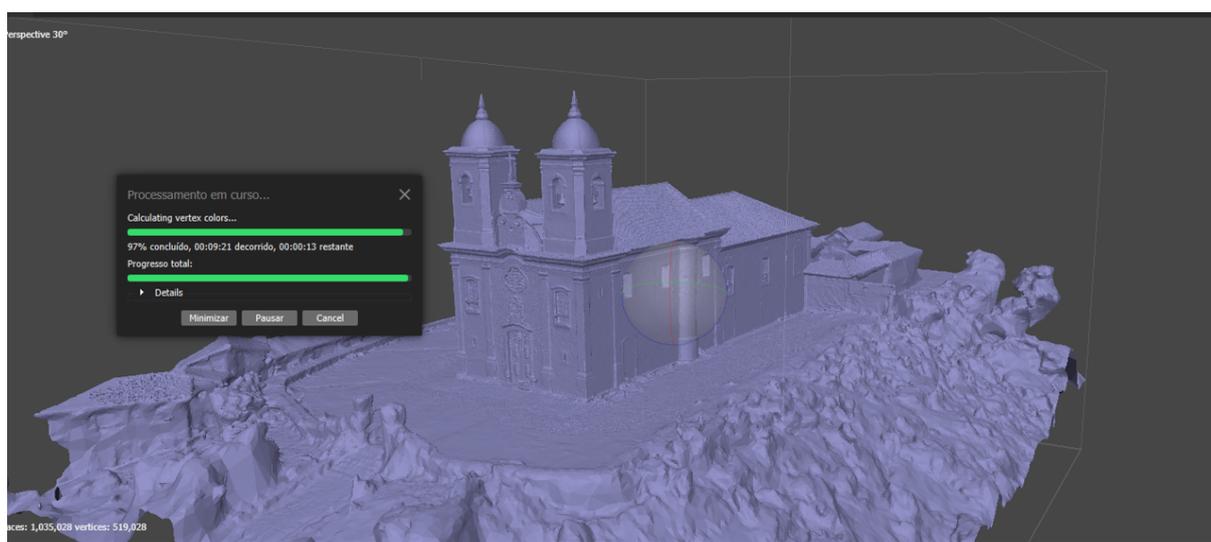
Modelo pré processamento - nuvem de pontos.

O processo de captação de imagens e pontos é deveras trabalhoso, pois necessita grande concentração do piloto do drone para captar os dados, sendo este um voo de difícil realização, tomando algumas horas para ser finalizado. As condições climáticas no momento da captura foram favoráveis, com excelente iluminação solar e leve brisa, tornando o voo com drone possível de ser realizado, dada as condições do dia. O processamento do modelo é um processo com alto custo computacional, sendo necessário, muitas vezes, longos prazos para criar um resultado satisfatório.

Após o processamento da nuvem de pontos, é gerado um modelo 3D intermediário, sendo este um modelo que ainda não conta com os dados das imagens, aparentando ser um modelo “cru”, de maneira a gerar um polígono ou forma geométrica com base nos pontos cartesianos, onde este, apresentou mais de 1.000.000 de vértices e cerca de 520.000 faces,

que ainda passará pelo processamento com as imagens. Em seguida, as fotos captadas pelo drone são carregadas ao modelo, criando texturas e detalhando o modelo 3D. Quanto maior o número de fotografias, mais detalhado será o modelo. É necessário captar todos os ângulos da edificação, realizando um voo completo ao redor, captando todo e qualquer detalhe da edificação. Para a este modelo, foram captadas mais de 1000 fotografias ao redor da igreja. Os pontos de posicionamento ultrapassam a casa de 650.000 pontos captados, conforme Figura 6.

Figura 6 – Modelo Cru - Poligonal



Modelo sem a adição das texturas criadas pelas imagens.

No terceiro estágio, é gerado um modelo poligonal suavizado e texturizado, sendo este estágio o penúltimo passo para a geração do modelo final. Aqui, serão adicionados os dados das imagens, de maneira inteligente, sendo o software responsável pela automação deste processo, sendo necessário aguardar o processamento dos dados, conforme Figura 7.

Figura 7 – Modelo Suavizado e Texturizado



Modelo que irá receber os dados das imagens, gerando modelo final.

Na última fase do processamento, o software apresenta um modelo que casa todos os estágios anteriores em um produto final, demonstrando alto nível de detalhamento gráfico com alta fidelidade aos detalhes reais da edificação, conforme Figura 8.

Figura 8 – Modelo Final - Texturas Finais



Modelo que sintetiza todos os modelos de estágios anteriores, finalizando o processo.

Com o uso do software, é possível aproximar a imagem e averiguar o nível de detalhe do modelo criado, conforme Figura 9.

Figura 9 – Detalhe 1 - Modelo Final



Detalhamento do modelo 3D

O nível de detalhe do modelo final é tão fiel, que é possível averiguar detalhes até mesmo de esculturas de pedra ao longo da fachada da igreja, conforme Figura 10.

Figura 10 – Detalhe 2 - Modelo Final



Detalhamento da escultura em pedra acima da porta da igreja.

O computador onde será renderizado o modelo 3D precisa ser equipado com unidade de processamento gráfico (GPU). A GPU, ou Unidade de Processamento Gráfico, é um tipo de microprocessador especializado em processar gráficos em computadores, estações de trabalho ou videogames. Elas são mais eficientes em tarefas gráficas em comparação com as CPUs convencionais devido à sua estrutura de processamento paralelo. As GPUs modernas são geralmente encontradas em placas de vídeo dedicadas, mas também podem ser encontradas em forma simplificada, integradas diretamente na placa-mãe, chamado de Acelerador Gráfico Integrado ou Placa de Vídeo Onboard. A GPU é uma parte importante para melhorar a performance gráfica do computador. Um exemplo de equipamento capaz de produzir modelos 3D com boa performance é a GPU GeForce RTX 2070 Super, equipamento de última geração em processamento gráfico; esta foi a unidade de processamento gráfico utilizada para renderização do modelo 3D apresentado, o processo levou aproximadamente 20 horas, indicando um nível de processamento gráfico bem elevado, mesmo com um equipamento de última geração. O modelo de GPU utilizado está abaixo, conforme Figura 11

Figura 11 – GPU - Unidade de Processamento Gráfico



Msi GeForce RTX 2070 Super

5 Conclusões e considerações finais

Em conclusão, a Indústria 4.0, com tecnologias avançadas como a automação, inteligência artificial, realidade aumentada, e Internet das Coisas oferece oportunidades significativas para melhorar a gestão de patrimônio histórico e cultural. A realidade aumentada, por exemplo, pode ser usada para fornecer informações adicionais sobre os objetos e locais históricos, permitindo uma experiência mais rica e imersiva para os visitantes. A HBIM pode ser usada para modelar e gerenciar edifícios históricos, permitindo que as equipes de conservação e restauração planejem e execute projetos de manutenção e reparação com mais precisão.

A internet das coisas também pode ser usada para monitorar e gerenciar os bens patrimoniais, permitindo que os responsáveis pela gestão do patrimônio tenham acesso às informações em tempo real e possam tomar decisões mais informadas sobre como preservar e proteger esses bens. A realidade virtual e aumentada também pode ser usadas para aumentar a acessibilidade a bens patrimoniais e proporcionar uma experiência mais imersiva para os visitantes. A tecnologia de sensoriamento e monitoramento também pode ser utilizada para detectar e prevenir danos ou alterações indesejadas nos bens patrimoniais, permitindo que os responsáveis possam tomar medidas para protegê-los antes que seja tarde demais. A inteligência artificial também pode ser usada para analisar grandes quantidades de dados e identificar padrões e tendências que possam ser úteis para a preservação do patrimônio. Em resumo, a tecnologia pode fornecer ferramentas valiosas para ajudar os responsáveis a proteger e preservar o patrimônio histórico e cultural, permitindo ao mesmo tempo aumentar a sua acessibilidade e valorização.

No entanto, a implementação dessas tecnologias também traz desafios significativos para a gestão de patrimônio histórico e cultural, como a preservação dos bens patrimoniais ao longo do tempo, questões éticas sobre a coleta e uso de dados, e acessibilidade para pessoas com necessidades especiais. A implementação da IoT também apresenta desafios significativos, como a necessidade de conectar e integrar diversos dispositivos e sistemas, a manutenção e reparação dos dispositivos, e a segurança dos dados coletados. A realidade virtual e aumentada também podem apresentar desafios significativos, como a necessidade de produzir conteúdo de alta qualidade e preciso, garantir acessibilidade para todos os usuários e assegurar a compatibilidade com diferentes dispositivos.

É importante que os responsáveis pelo patrimônio histórico e cultural considerarem cuidadosamente esses desafios e trabalhar para encontrar soluções que garantam a preservação e acessibilidade dos bens patrimoniais para as gerações futuras. A pesquisa bibliográfica mostrou que ao seguir essa abordagem, é possível equilibrar a preservação do patrimônio com a sua utilização e valorização. Além disso, a colaboração entre especialistas e a comunidade local é crucial para garantir que as soluções sejam eficazes e

sustentáveis. Em resumo, a preservação do patrimônio histórico e cultural é um desafio complexo que requer uma abordagem holística e multidisciplinar.

A modelagem 3D da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto foi realizada com sucesso, permitindo uma compreensão detalhada da arquitetura e estética do monumento. O estudo de caso mostrou a eficácia da utilização da tecnologia de modelagem 3D na preservação e documentação de patrimônios históricos e culturais. A modelagem também pode ser útil para fins educacionais, turísticos e de pesquisa, além de ser uma ferramenta valiosa para a conservação e restauração do patrimônio cultural. Em conclusão, a modelagem 3D é uma ferramenta poderosa e versátil que deve ser amplamente utilizada na preservação do patrimônio cultural.

Com a modelagem da Igreja de Nossa Senhora das Mercês e Perdões de Ouro Preto, é possível que futuras reformas e manutenções da edificação possam ser realizadas com base no modelo gerado, visto tamanho detalhamento do resultado. Equipes de arquitetura, engenharia civil e de restauro poderão ter acesso ao modelo, utilizando-o para consultas e eventuais reformas, até mesmo em casos de tragédia, como incêndios ou deslizamentos de terra.

É possível traçar um paralelo entre o deslizamento do Morro da Forca em Ouro Preto e a modelagem 3D; ocorrido em 13 de janeiro de 2022, onde as fortes chuvas do período causaram um grande deslizamento de terra. O deslizamento não resultou em fatalidades, porém, o casarão histórico Solar Baeta Neves foi totalmente destruído ao ser atingido pelo deslizamento, trazendo toda a estrutura da edificação abaixo. A modelagem 3D, caso feita de maneira prévia, poderia ser uma ferramenta eficaz para a reconstrução e reestruturação do casarão. Com a estabilização da encosta que oferecia riscos, obras de reconstrução do casarão poderiam acontecer, e com o modelo 3D, seria possível alcançar alta fidelidade ao casarão que um dia existiu. Sendo assim, é possível concluir que a modelagem 3D de monumentos históricos pode salvaguardar o patrimônio histórico e cultural de uma cidade, permitindo a sua preservação permanente.

A criação de um laboratório de patrimônio 4.0 na Universidade Federal de Ouro Preto e na cidade de Ouro Preto-MG é uma grande oportunidade para a instituição e para a região. Além de preservar e valorizar o rico patrimônio histórico e cultural da região, o laboratório permitirá a formação de profissionais capacitados e preparados para atuar na preservação do patrimônio cultural e histórico do Brasil. A tecnologia 4.0 e a modelagem 3D também permitirão a realização de estudos e pesquisas mais precisos e detalhados, contribuindo para o conhecimento e valorização desses patrimônios e para a preservação e desenvolvimento econômico na região. Em resumo, a criação deste laboratório é uma oportunidade única para a Universidade Federal de Ouro Preto e para a cidade de Ouro Preto-MG, enriquecendo a preservação e valorização do patrimônio cultural da região.

Ouro Preto possui uma rica história e cultura, além de uma localização estratégica e potencial para o desenvolvimento econômico. No entanto, para alcançar o pleno potencial

é necessário que o município passe a se destacar como uma smart city; é importante que a cidade invista em tecnologia e inovação.

Ao se tornar uma smart city, Ouro Preto pode melhorar a qualidade de vida de sua população, aumentar a eficiência econômica e ambiental, além de atrair investimentos e turistas. Isso pode ser alcançado ao investir em infraestrutura inteligente, como redes de transporte conectadas, sistemas de gerenciamento de energia e água, além de soluções de segurança e saúde inteligentes. Ao investir em tecnologia e inovação, Ouro Preto pode se destacar como uma smart city; É importante envolver a comunidade, investir em educação e capacitação e colaborar com parceiros para alcançar esse objetivo.

Referências

- ADANE, A.; CHEKOLE, A.; GEDAMU, G. Cultural heritage digitization: Challenges and opportunities. *International Journal of Computer Applications*, v. 178, p. 1–5, 2019.
- AIRES, R. W. do A.; KEMPNER-MOREIRA, F.; FREIRE, P. de S. Indústria 4.0: Desafios e tendências para a gestão do conhecimento. *Anais do I SUCEG*, Florianópolis, 2017.
- BARAZZETTI, L. et al. Bim from laser clouds and finite element analysis: Combining structural analysis and geometric complexity. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Avila, Espanha, XL-5/W4, p. 345–350, 2015.
- BARRILE, V.; BILOTTA, G.; LAMARI, D. 3d models of cultural heritage. *International journal of mathematical models and methods in applied sciences*, v. 11, p. 1–8, 2017.
- BERNARDOS, A. M.; CASAR, J. R. Analyzing business models for mobile augmented reality. *International Conference on Intelligence in Next Generation Networks*, EUA, p. 97–102, 2011.
- BILJECKI, F. et al. Applications of 3d city models: State of the art review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 4, p. 2842–2889, 2015.
- BOLTON, A.; ENZER, M.; SCHOOLING, J. The gemini principles: Guiding values for the national digital twin and information management framework. centre for digital built britain and digital framework task group. 2018.
- BRUSAPORCI, S.; MAIEZZA, P.; TATA, A. A framework for architectural heritage hbim semantization and development. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2, p. 179–184, 2018.
- CHUNG, M.-K. Internationalization strategies of korean motor vehicle industry. *Actes du GERPISA*, n. 18, p. 117–122, 1996.
- CRANMER, E.; JUNG, T. Augmented reality (ar): Business models in urban cultural heritage tourist destinations. *APacCHRIE Conference*, Malaysia, p. 21–24, 2014.
- DEZEN-KEMPTER, E. et al. Escaneamento 3d a laser, fotogrametria e modelagem da informação da construção para gestão e operação de edificações históricas. *Gestão e Tecnologia De Projetos*, v. 10, p. 113–124, 2015.
- FREY, C. B.; OSBORNE, M. A. The future of employment: How susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, v. 114, p. 254–280, 2017.
- GHIRARDELLO, N. Patrimônio histórico: como e por que preservar. *Crea-SP*, v. 3, 2008.
- GONÇALVES, P. H. *Patrimônio 4.0*. São Paulo: Editora Blucher, 2022. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555065510>>. Acesso em: 30 set. 2022.

- GONZALEZ, E. M. A. et al. Cultural heritage and internet of things. In *Proceedings of the 6th EAI International Conference on Smart Objects and Technologies for Social Good (GoodTechs '20)*., p. 248–251, 2020.
- GUIDI, G.; BERARDIN, J.; ATZENI, C. High-accuracy 3d modeling of cultural heritage: the digitizing of donatello's "maddalena". *IEEE Transactions on Image Processing*, v. 13, p. 370–380, 2004.
- JARA, A. J. et al. Internet of things for cultural heritage of smart cities and smart regions. *IEEE 29th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops*, p. 668–675, 2015.
- KLEEF, N.; NOLTES, J.; SPOEL, S. Van der. Success factors for augmented reality business models. *Study tour Pixel*, 2010.
- MEISTER, J. *Educação corporativa*. São Paulo: Makron Books, 1999.
- MELO, A.; CARDOZO, P. F. Patrimônio, turismo cultural e educação patrimonial. *SCIELO*, v. 36, 2015.
- MOHAMED, M. Challenges and benefits of industry 4.0: An overview. *International Journal of Supply and Operations Management*, v. 5, p. 256–265, 2018.
- MOTYL, B. et al. How will change the future engineers' skills in the industry 4.0 framework? a questionnaire survey. *Procedia Manufacturing*, v. 11, p. 1501–1509, 2017.
- MURPHY, M.; MCOVERN, E.; PAVÍA, S. Historic building information modelling (hbim). *Structural Survey*, v. 27, p. 311–327, 2009.
- NAZARENA, B.; RONCELLA, R. A new proposal for information modeling. remote sensing. *Remote Sensing.*, v. 11, 2019.
- PETRUCCO, C.; AGOSTINI, D. Teaching cultural heritage using mobile augmented reality. *Journal of e-Learning and Knowledge Society*, v. 12, n. 3, 2016.
- PFEIFFER, S. Effects of industry 4.0 on vocational education and training. *Actes du GERPISA*, São Cristóvão, SE, p. 51, 2015.
- QUANDT, C. Impactos da implantação do processo de gestão do conhecimento na estruturação dos sistemas de informações empresariais. *INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON KNOWLEDGE MANAGEMENT / DOCUMENT MANAGEMENT*, Curitiba, 2001.
- QUINTINO, L. F. et al. *Indústria 4.0*. Porto Alegre: SAGAH, 2019. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788595028531>>. Acesso em: 14 set. 2022.
- SACOMANO, J. B. et al. *INDÚSTRIA 4.0: CONCEITOS E FUNDAMENTOS*. São Paulo: Editora Blucher, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788521213710>>. Acesso em: 14 set. 2022.
- SALGADO, M. S.; CANUTO, C. L.; CODINHOTO, R. Gestão da conservação preventiva do patrimônio moderno através do hbim-dt. *Research Gate*, UFRJ - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

- SANTOS, M.; MANHÃES, A. M.; LIMA, A. R. Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. *SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO DE SERGIPE*, São Cristóvão, SE, v. 10, p. 317 – 329, 2018.
- SCHWAB, K. *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro, 2016.
- SCOPIGNO, R. et al. 3d models for cultural heritage: Beyond plain visualization. *Computer*, v. 44, p. 48–55, 2011.
- SILVA, L. C. D.; CRISTOFOLI, G. R.; BENINI, S. M. Reconstrução 3d e demais aspectos relativos à preservação do patrimônio histórico biblioteca pública cassiano ricardo. *Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes*, v. 9, 2021.
- SINGH, M. et al. Digital twin: Origin to future. *Applied System Innovation*, v. 4, 2021.
- SORIANO, J. Internet of services. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*, Berlin, v. 1, n. 1, p. 68, 2013.
- THEODOROPOULOS, A.; ANTONIOU, A. Vr games in cultural heritage: A systematic review of the emerging fields of virtual reality and culture games. *Applied Sciences*, v. 12, 2022.
- TSCHEU, F.; BUHALIS, D. Augmented reality at cultural heritage sites. *Information and Communication Technologies in Tourism*, Switzerland, 2016.
- UNGER, H.; BÖRNER, F.; MÜLLER, E. Context related information provision in industry 4.0 environments. *International Conference on Flexible Automation and Intelligent Manufacturing*, p. 796–805, 2017.
- VENAZI, D. et al. *Introdução à engenharia de produção: conceitos e casos práticos*. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- VILELA, J. P. C. M.; LOPES, R. F.; LIMA, F. Modelagem 3d de edifícios históricos: a influência do lod no processo de reconstrução virtual. *Gestão Tecnologia De Projetos*, v. 16, 2021.
- XIONG, X. et al. Automatic creation of semantically rich 3d building models from laser scanner data. *Automation in Construction*, v. 31, p. 325–337, 2013.