

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
Escola de Arquitetura e Design  
Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável

Gabriella Regina Santos Torres

**Aplicações da Arqueologia da Arquitetura, HBIM e xR no processo de  
documentação do Patrimônio Cultural**

Belo Horizonte  
2025

Gabriella Regina Santos Torres

**Aplicações da Arqueologia da Arquitetura, HBIM e xR no processo de documentação do Patrimônio Cultural**

Dissertação apresentada ao programa de Pós Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Área de concentração: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável.

Linha de Pesquisa: Tecnologia do Ambiente Construído

Orientador: Prof. Dr. Guilherme Nunes de Vasconcelos.

Belo Horizonte  
2025

### FICHA CATALOGRÁFICA

T693a

Torres, Gabriella Regina Santos.

Aplicações da arqueologia da arquitetura, HBIM e xR no processo de documentação do Patrimônio Cultural [recurso eletrônico] / Gabriella Regina Santos Torres. - 2025.

1 recurso eletrônico (192 f. : il.), pdf.

Orientador: Guilherme Nunes de Vasconcelos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura.

1. Arquitetura e arqueologia - Teses. 2. Modelagem de informação da construção - Teses. 3. Patrimônio cultural - Teses. 4. Igrejas católicas - Teses. I. Vasconcelos, Guilherme Nunes de. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Arquitetura. III. Título.

CDD 350.85



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

"Aplicações da Arqueologia da  
Arquitetura, HBIM e xR no processo de documentação do Patrimônio Cultural"

**GABRIELLA REGINA SANTOS TORRES**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia **dezessete de outubro de dois mil e vinte e cinco**, pela Banca Examinadora designada pelo Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

**Prof. Dr. Guilherme Nunes de Vasconcelos**

Escola de Arquitetura/UFMG - Orientador

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Borges Brasileiro**

Escola de Arquitetura/UFMG

**Prof. Dr. Willi de Barros Gonçalves**

Escola de Belas Artes/UFMG

**Prof. Dr. Leandro dos Santos Magalhães**

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

Belo Horizonte, 17 de outubro de 2025.



Documento assinado eletronicamente por **Willi de Barros Goncalves, Professor do Magistério Superior**, em 20/10/2025, às 14:54, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Nunes de Vasconcelos, Professor(a)**, em 20/10/2025, às 16:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Borges Brasileiro, Professora do Magistério Superior**, em 20/10/2025, às 17:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Leandro dos Santos Magalhães, Usuário Externo**, em 06/11/2025, às 00:23, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufmg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **4459866** e o código CRC **05E78E5E**.

---

Referência: Processo nº 23072.249436/2025-13

SEI nº 4459866

## AGRADECIMENTOS

Nenhum fazer se sustenta só. Este trabalho é fruto de uma rede de encontros, apoios e presenças que, de diferentes formas compuseram meu processo. Ainda que a elaboração desta dissertação seja fruto de momentos de silêncio e concentração individuais, ela só pôde acontecer em campo compartilhado, com trocas, escutas e gestos que me sustentaram ao longo do caminho.

Em primeiro lugar, agradeço à minha base, a quem me permitiu estar em um mestrado, sair do meu estado natal e conhecer novos e belos horizontes. Agradeço à minha fonte de força e inspiração de mulher, Marcelly Regina, minha mãe, que é o maior exemplo de coragem que já tive. Ao meu maior incentivador e fiel escudeiro, Osmar Neto, meu irmão, que sempre me incentivou a ir mais longe e enfrentar meus medos. Ao meu pai, José Batista, que nunca se ausentou quando precisei e a toda minha família que sempre apoiou meus sonhos. Obrigada por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Guilherme de Vasconcelos, que se tornou um conselheiro e amigo, pelo tempo doado, pelas portas abertas e pela escuta e leitura generosas. Ao Prof. Dr. Willi de Barros e à Tiago Hardy, pelo incentivo e acolhida no Laboratório de Conservação Preventiva (LACONPRE), onde parte deste trabalho encontrou lugar para crescer. Ao Núcleo de Experimentações em Tecnologias Digitais (NEXT), onde sempre fui acolhida e bem-vinda para desenvolver esta pesquisa. À Prof. Dra. Yacy Ara, coordenadora do projeto “Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM”, processo CNPq Nº 405146/2021-3, no âmbito do qual este trabalho foi desenvolvido, pela oportunidade de me juntar à equipe, a qual também agradeço.

Agradeço às minhas amigas, em especial Thais Mazine, Patriscia Leal, Eduarda Barreto e Dantiely Martins que foram escuta atenta e presente diariamente e que sempre, com todo o carinho do mundo, me incentivaram a seguir em frente. Aos amigos que fiz após o início dessa jornada, em especial Raquel Arruda, Ricardo Morandin, Augusto Montor, Dayane Felix e Caroline de Oliveira pelas trocas que só quem compartilha um caminho parecido pode entender. E aos tantos outros amigos que estiveram comigo nesta e em outras fases e, mesmo não citados aqui, me fortaleceram por confiarem em mim e demonstrarem orgulho pelo caminho que escolhi

trilhar. Obrigada por enxergarem valor onde, às vezes, eu mesma não via.

Agradeço à Alice Gonçalves por fazer o meu cotidiano mais leve, pelo acolhimento e partilha diárias que fizeram completa diferença neste processo. Obrigada por me lembrar de me encantar com o mundo, de valorizar as coisas desimportantes que no fim, são tão importantes, pela leveza do existir, pela grandeza da companhia e pela inteireza do amor que me ajudou a cuidar de cada pedaço desse caminho.

À Gessika Brasileiro, que, sem dúvidas, foi quem acompanhou mais de perto a dor e a delícia deste processo junto a mim. Obrigada por caminhar comigo e por me ajudar a sustentar o passo na direção do que faz sentido.

Aos professores e professoras que, desde os primeiros anos, foram mestres em seus ensinamentos e me permitiram chegar até aqui. Em especial, à minha querida orientadora da graduação, Luciana Mascaro, que foi quem mais me incentivou a seguir na vida acadêmica e a me apaixonar pela área de Patrimônio.

Por fim, um agradecimento à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG, pela bolsa concedida, que possibilitou a dedicação a esta pesquisa e o aprofundamento dos estudos ao longo do período de sua realização. Agradeço também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ, pelo fomento ao projeto institucional no qual este trabalho se insere, contribuindo para o desenvolvimento científico e acadêmico desta investigação.

## **EPIGRAFE**

As mudanças estão ocorrendo em toda parte, ao redor de nós, mas também em nosso interior, em nossa forma de representar o mundo. É urgente que nos equipemos com ferramentas para poder pensar estas mudanças, avaliá-las, discuti-las — em suma, particular ativamente da construção de nossos destinos.

(COSTA, 1993.)

Para olhar para o futuro enquanto ele ainda existe, podemos olhar para o passado, não no sentido do que aconteceu ou foi feito, mas sim para as marcas dele no presente. Essas marcas sustentam o próprio território que está ruindo sob os nossos pés e o céu que está desabando sobre nossas cabeças, mas talvez possuam a potência para regenerá-los. Contemos outras histórias.

(WITTMANN, 2022)

## RESUMO

Esta dissertação investiga a aplicabilidade de uma metodologia de modelagem HBIM (*Heritage Building Information Modelling*) baseada nos princípios da arqueologia da arquitetura, com ênfase no uso de Unidades Estratigráficas (UEs) e a integração desta modelagem com recursos de interfaces interativas. Para efetivar a investigação, tal metodologia de modelagem foi aplicada ao medalhão da fachada da Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto/MG. A pesquisa parte da constatação de que os modelos HBIM convencionais operam sob uma lógica geométrica e estática, sem incorporar, de modo significativo, a complexidade material das edificações com valor patrimonial. O objetivo geral é propor e investigar a aplicabilidade de uma metodologia de modelagem HBIM, fundamentada em princípios da arqueologia da arquitetura e no uso de UEs, para a representação do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto, explorando o potencial de sua integração com um protótipo de website com recursos básicos de realidade estendida (xR). Como estratégia metodológica, adotou-se o *Design Science Research* (DSR), visando à proposição e avaliação de artefatos práticos e conceituais. Foram desenvolvidos dois artefatos principais: um novo fluxo de trabalho para modelagem HBIM com base em UEs, e a aplicação dessa metodologia ao caso do medalhão, culminando em um protótipo digital. A aplicação prática deste protótipo resultou no desenvolvimento de um *website*, que funciona como um repositório de dados sobre o projeto, contando com visualização tridimensional do modelo HBIM via *Sketchfab* e anotações interativas. Os resultados indicam que a integração entre arqueologia da arquitetura, HBIM e plataformas *web-xR* pode enriquecer significativamente os processos de documentação e comunicação do patrimônio, promovendo abordagens mais interpretativas, contextuais e acessíveis. Apesar das limitações operacionais enfrentadas durante o mestrado, como o tempo reduzido para o desenvolvimento completo das ferramentas, a pesquisa oferece contribuições metodológicas e técnicas relevantes para futuras investigações no campo do patrimônio cultural digital.

Palavras-chave: HBIM; Unidades estratigráficas; Arqueologia da arquitetura; Realidades Estendidas; Patrimônio Histórico.

## ABSTRACT

*This dissertation investigates the applicability of an HBIM (Heritage Building Information Modelling) methodology based on the principles of architectural archaeology, with an emphasis on the use of Stratigraphic Units (SUs) and the integration of this modeling approach with interactive interface resources. To carry out the investigation, this modeling methodology was applied to the medallion on the façade of the Church of São Francisco de Assis in Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil. The research stems from the observation that conventional HBIM models operate under a geometric and static logic, without significantly incorporating the material complexity of heritage buildings. The general objective is to propose and investigate the applicability of an HBIM modeling methodology grounded in the principles of architectural archaeology and the use of SUs, for the representation of the medallion of the Church of São Francisco de Assis in Ouro Preto, exploring its potential integration with a prototype website featuring basic extended reality (xR) resources. As a methodological strategy, the Design Science Research (DSR) approach was adopted, aiming at the proposition and evaluation of practical and conceptual artifacts. Two main artifacts were developed: a new HBIM modeling workflow based on SUs, and the application of this methodology to the case of the medallion, resulting in a digital prototype. The practical application of this prototype led to the development of a website that serves as a data repository for the project, featuring 3D visualization of the HBIM model via Sketchfab and interactive annotations. The results indicate that the integration of architectural archaeology, HBIM, and web-xR platforms can significantly enrich heritage documentation and communication processes, fostering more interpretative, contextual, and accessible approaches. Despite the operational limitations faced during the master's program, such as the limited time for full tool development, the research offers relevant methodological and technical contributions for future investigations in the field of digital cultural heritage.*

**Keywords:** *Stratigraphic units; Archaeology of architecture; Extended realities; Historical heritage.*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Lógica para a construção das Classes de Problemas. ....	25
Figura 02 - Funcionamento de artefato .....	29
Figura 03 - Estágios de uma revisão sistemática, adaptadas de Petticrew & Roberts (2006).....	34
Figura 4 - Seleção das strings de busca .....	36
Figura 5 - Releitura do fluxograma PRISMA, modificado e atualizado de acordo com a revisão sistemática que se segue. ....	38
Figura 6 - Incidência de palavras chaves nos artigos selecionados.....	39
Figura 7 - Locais onde foram produzidos os artigos considerados nesta revisão ....	41
Figura 8 - Quantidades de publicação dos autores por países .....	41
Figura 9 - Gráfico de quantidade de citações x data .....	42
Figura 10 - Quantidade de publicações por ano.....	43
Figura 11 - Experiência de RM no jogo First Encounters, utilizando o dispositivo Meta Quest 3. Na imagem, é possível observar elementos digitais sobrepostos ao ambiente físico real. ....	49
Figura 12 - Uso do dispositivo Microsoft HoloLens em aplicação prática. A imagem mostra uma profissional utilizando o headset HoloLens enquanto realiza uma tarefa técnica em um equipamento físico.....	50
Figura 13 - Palimpsesto medieval em que, possivelmente monges ortodoxos do século XIII escreveram os seus textos litúrgicos sobre um conjunto de documentos que eram cópias do século X com obras de Arquimedes e Siracusa. ....	65
Figura 14 - Comparação entre a disposição dos estratos na arqueologia e na arquitetura. ....	69
Figura 15 - 1) Cenas de trabalho diante do paiol; 2) Cena de trabalho no moinho de farinha; .....	78
Figura 16 - 1) Processo de criação da réplica em 3D. 2) Processo de participação dos povos indígenas na recriação das gravuras perdidas. ....	79
Figura 17 - Exemplificação de distintas formas de subdivisão de UEs, definidas conforme os objetivos específicos da investigação.....	84
Figura 18 - Estudo da estratificação e interfaces de integração devido à erosão e definição dos níveis atuais de erosão, preparatória para o plano de restauração; .....	85
Figura 19 - 1) O modelo resultante da pesquisa ou do "modelo baseado em realidade"; 2) o "modelo baseado em origem". O objeto (SU) passou por um corte (-SU) que pode ser preenchido por uma hipótese de reconstrução (USVs). ....	88
Figura 20 - O projeto XR forneceu diferentes fontes de dados, como telas de informação, dados multimídia e um modelo interativo. ....	90
Figura 21 - Os três tipos de representação de UE no caso da Igreja de St. Francesco. ....	91
Figura 22 - Unidades stratigráficas da fachada leste no estudo de caso do Arqueduto Cláudio-Ânio Novo.....	93
Figura 23 - xR como termo guarda-chuva que engloba RA e RV. ....	99
Figura 24 - Estrutura de gerenciamento de riscos usando HBIM e xR.....	101

Figura 25 – Framework HBIM-xR.....	104
Figura 26 – Workflow do projeto HBIM-xR .....	104
Figura 27 - Esboço da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho de Sánchez et al. (2022) .....	105
Figura 28 - Mapa da metodologia aplicada durante o trabalho de Clini et al., (2023) .....	106
Figura 29 – Quadro-resumo sobre os 5 tipos de interoperabilidade.....	107
Figura 30 – Profissional em campo utilizando método baseado em papel (esquerda), método baseado em RV (à direita). .....	119
Figura 31 - Comparação entre as plataformas de navegação RV testadas: .....	120
Figura 32 - Sistema de visualização com RA dos MEP na edificação .....	121
Figura 33 - Projeto de RA desenvolvido para a Igreja de São Francisco: .....	122
Figura 34 - Reproduções morfológicas tridimensionais de técnicas de construção facilitam a comunicação de aspectos funcionais e formais, permitindo aos observadores interpretar as unidades estratigráficas detectadas. ....	123
Figura 35: Plantas com a documentação extraída de antigas escavações arqueológicas.....	124
Figura 36: Visita digital ao monumento Columbários de Merida acessado via RA através de celular, utilizando a aplicação sketchpad, produto do trabalho de Sánchez et al. (2022). .....	124
Figura 37 - Mapa de Minas Gerais com município de Ouro Preto em destaque.....	128
Figura 38 - Mapa de localização da Igreja São Francisco de Assis em Ouro Preto	130
Figura 39 - Localização do óculo na fachada da Igreja de São Francisco de Assis	131
Figura 40 - elementos escultóricos que compõem a fachada da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto .....	132
Figura 41 - Detalhe da parte inferior esquerda esculpida do medalhão que mostra a árvore cortada. ....	132
Figura 42 - Divisão de UEs do medalhão;.....	134
Figura 43 - Limites definidores das UEs;.....	135
Figura 44 - Descrição detalhada do método de desenvolvimento do modelo do medalhão. ....	138
Figura 45 - Detalhe em fotografia de fluorescência UV 365 nm, mostrando no lado esquerdo uma área de intervenção prévia, e no lado direito a testa com excremento de pássaro restante na superfície superior da pedra. ....	140
Figura 46 - Detalhe do levantamento utilizando câmera térmica.....	141
Figura 47 - Detalhe da nuvem de pontos levantada.....	142
Figura 48 - Falhas na malha do objeto 3D, especialmente onde está grifado de laranja na parte interna do objeto.....	143
Figura 49 - Objeto com malha alinhada ao campo no software Instant Meshes .....	144
Figura 50 - Testes de processamento utilizando quadrados, triângulos e diferentes números de elementos; quanto mais elementos, maior a qualidade da malha e mais difícil de fechar utilizando o Blender. ....	144
Figura 51 - Modelo 3D com desenho vetorizado.....	146
Figura 52 - Impressão 3D de teste inicial para comprovar o fechamento da malha do medalhão. ....	146
Figura 53 - Modelo 3D com desenho vetorizado para ser segmentado no Blender	147
Figura 54 - Modelo 3D já segmentado no Blender .....	147
Figura 55 – Exemplo de unwrapping de peça .....	148
Figura 56 - Geometry Nodes (nós) para adição de texturas no Blender. ....	149
Figura 57 - BlenderBIM aplicado à criação de mapeamento de danos tridimensional.	

.....	150
Figura 58 – Modelo do BlenderBIM aberto no software Archicad por meio do formato .ifc .....	151
Figura 59 - Página do British Museum no Sketchfab .....	153
Figura 60 - Anotação feita na plataforma Sketchfab sobre uma das UEs do medalhão. ....	155
Figura 61 - Bones do esqueleto criado para animar o 3D do medalhão .....	156
Figura 62. Suporte à visualização em RV e RA do Sketchfab.....	157
Figura 63 - ‘Mapas de danos’ 3D. ....	157
Figura 64 - Mapeamento de danos tridimensional do medalhão no Sketchfab .....	158
Figura 65 - ‘Nó’ da alteração cromática.....	159
Figura 66 – Esquema explicativo das possibilidades de interação com o modelo através de xRs e de website. ....	162
Figura 67 - QR Code de acesso ao site .....	163
Figura 68 - Site desenvolvido no âmbito do mestrado acadêmico de Gabriella Torres como forma de divulgação e organização informacional dos dados relacionados ao medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto.....	164

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classes de problemas encontradas na revisão sistemática e artefatos deste estudo.....	27
Tabela 2 – Classes de problemas e artefatos deste estudo.....	29
Tabela 3 - Vantagens de utilizar o HBIM com xR na gestão patrimonial.....	94
Tabela 4 - Etapas e saídas do HBIM x formatos comumente utilizados .....	111
Tabela 5 - Sistematização da etapa de levantamento e equipamentos .....	139

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- 3D – (tridimensional)
- 5W – (*What, Who, When, Where, Why*)
- 5W1H – (*What, Who, When, Where, Why, How*)
- AEC – (Arquitetura, Engenharia e Construção)
- BAIM – (*Building Archaeology Informative Modelling*)
- BIM – (*Building Information Modelling*)
- CIPA – (*Comité International de la Photogrammétrie Architecturale*)
- CNPq – (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico)
- DT – (*Digital Twin*)
- DSR – (*Design Science Research*)
- FJP – (Fundação João Pinheiro)
- GOG – (*Grades of Generation*)
- GOA – (*Grades of Accuracy*)
- HBIM – (*Heritage/Historic Building Information Modelling*)
- ICOMOS – (*International Council of Monuments and Sites*)
- IFC – (*Industry Foundation Classes*)
- IPHAN/MT – (Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional –  
Superintendência de Mato Grosso)
- ISPRS – (*International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*)
- LiDAR – (*Light Detection and Ranging*)
- LOD – (*Level of Detail*)
- LOI – (*Level of Information*)
- LOG – (*Level of Geometry*)
- PRISMA – (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*)
- RA – (Realidade Aumentada)
- RV – (Realidade Virtual)
- UE – (Unidade Estratigráfica)
- UEV – (Unidade Estratigráfica Virtual)
- UAV – (*Unmanned Aerial Vehicle*)
- UNESCO – (Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a  
Cultura)
- UV – (Fotografia Ultravioleta)

UX – (Design de Experiência do Usuário)

VANT – (Veículo Aéreo Não Tripulado)

VT/IM – (*Virtual Tours and Informational Modeling*)

xR – (Realidades Estendidas)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>17</b>
1.1	Breve panorama conceitual a respeito das tecnologias abordadas.....	17
1.2	Trajetória e motivação de pesquisa.....	21
1.3	Objetivos .....	24
1.4	Metodologia.....	24
1.5	Apresentação da estrutura básica da dissertação .....	30
<b>2</b>	<b>REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA.....</b>	<b>33</b>
2.1	Introdução da revisão bibliográfica sistemática .....	33
2.2	Descrição do protocolo de revisão.....	33
2.3	Avaliação dos trabalhos .....	38
2.4	Questões conceituais .....	44
2.5	Síntese dos estudos levantados na revisão bibliográfica sistemática.....	51
2.6	A revisão como ponto de partida para a discussão.....	61
<b>3</b>	<b>ARQUEOLOGIA DA ARQUITETURA E HBIM .....</b>	<b>63</b>
3.1	A arqueologia da arquitetura.....	63
3.2	A estratigrafia e o conceito de análise estratigráfica.....	68
3.3	A documentação do patrimônio material, a arqueologia da arquitetura e as tecnologias digitais.....	70
3.4	Uma outra perspectiva sobre documentação digital .....	76
3.5	Arqueologia da arquitetura e criação de 'patrimônio digital' .....	80
3.6	O conceito de unidades estratigráficas (UE) .....	83
3.7	A aplicação das UEs na reconstrução digital e HBIM .....	86
<b>4</b>	<b>O HBIM E AS xRs .....</b>	<b>94</b>
4.1	Os usos do HBIM-xR .....	94

4.2 xR no Patrimônio Cultural e a responsabilidade na mediação tecnológica	98
4.3 HBIM como infraestrutura digital para xR.....	102
4.4 Implicações conceituais e operacionais da aplicação conjunta.....	106
4.4.1 Interoperabilidade .....	106
4.4.2 Interoperabilidade técnica .....	109
4.4.3 Complexidade do modelo, uma ideia variável? .....	113
4.5 Comunicação e construção de narrativas xRs.....	115
4.6 Documentação interativa e hipermídia aplicada .....	119
4.7 Síntese sobre as convergências entre xR e HBIM .....	125
5 ESTUDO DE CASO.....	127
5.1 Apresentação e contextualização histórica do objeto de estudo .....	127
5.2 O medalhão.....	130
5.3 A divisão do medalhão em UEs .....	134
5.4 O processo de levantamento e processamento .....	138
5.5 O processamento dos dados levantados.....	141
5.6 O processo de modelagem.....	144
5.7 O processo de adição de informações.....	149
5.8 A integração do modelo HBIM a uma plataforma digital interativa.....	151
5.9 O <i>Sketchfab</i> como opção de plataforma .....	152
5.10 O desenvolvimento do modelo para a plataforma <i>Sketchfab</i> .....	155
5.11 O desenvolvimento do protótipo <i>website</i> para integração dos dados.....	159
5.12 Retomando limites, escolhas e oportunidades do processo .....	164
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	167
REFERÊNCIAS.....	174
APÊNDICES .....	188

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 Breve panorama conceitual a respeito das tecnologias abordadas

Antes de apresentar a trajetória e as motivações que orientam esta pesquisa, é necessário contextualizar alguns dos conceitos que a sustentam. Por essa razão, optou-se por antecipar, nesta seção introdutória, um breve panorama conceitual a respeito das tecnologias mencionadas ao longo do texto. A compreensão, ainda que inicial, desses conceitos mostra-se fundamental para situar o leitor diante da especificidade do recorte adotado, uma vez que o aprofundamento teórico será desenvolvido nos capítulos seguintes. A ausência dessa introdução poderia comprometer a clareza da argumentação e dificultar o entendimento das escolhas metodológicas e analíticas realizadas.

Os métodos de documentação aplicados ao patrimônio cultural, com ênfase nas tecnologias digitais têm despertado o interesse de pesquisadores e instituições ao redor do mundo, motivando o desenvolvimento de estudos e práticas em diferentes contextos acadêmicos e profissionais seja internacionalmente<sup>1</sup> ou nacionalmente<sup>2</sup>. A ampliação do uso dessas tecnologias reflete a potencialidade delas em abordagens mais precisas, abrangentes e interativas na documentação, análise, gestão, conservação e difusão do patrimônio cultural.

Tradicionalmente, a medição direta de edificações com valor patrimonial, baseada em instrumentos como trenas, fios de prumo e níveis, requer procedimentos

---

<sup>1</sup> Destaca-se o trabalho do *CIPA Heritage Documentation*, um dos comitês científicos mais antigos do ICOMOS (*International Council of Monuments and Sites*), fundado em 1968 em colaboração com a ISPRS (*International Society of Photogrammetry and Remote Sensing*). Merecem destaque, ainda, o *Carleton Immersive Media Studio* (CIMS), centro de pesquisa da Universidade Carleton (CURC), na Faculdade de Engenharia e Design, no Canadá; o IPTI (*Investigation in Cultural Patrimony: Tangible and Intangible*), na Universidade de Lisboa; o *Gicarus Lab*, no *Politecnico di Milano*; o laboratório KAIST UVR, na *Korea Advanced Institute of Science and Technology*, na Coreia do Sul e os estudos desenvolvidos pelo Departamento de História, Design e Restauração da Arquitetura da Sapienza, Universidade de Roma.

<sup>2</sup> Destacam-se a Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) (Cuperschmid *et al.*, 2018), o Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo (IAU/USP) (Vizioli, 2023; Costa *et al.*, 2021), a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia (UFBA) (Groetellars, 2015; Tolentino, 2018), a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas (UFPel) (Freitas, 2024;), a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (Canuo, 2024), a própria Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) (Hardy; Gonçalves; Froner, 2025), além do Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), por meio do Programa de Especialização em Patrimônio (PEP), que tem publicado trabalhos relevantes sobre o assunto (Abrantes, 2014;), entre outros trabalhos cada vez mais comuns no âmbito acadêmico. Trabalhos na iniciativa privada também chamam atenção, como os desempenhados pela empresa VIT (*Virtual Information Technology Ltda*) ou também pela NUV Captura de Realidade Ltda.

geométricos como triangulação, coordenadas cartesianas e irradiação para alcançar resultados confiáveis (Groetelaars, 2004). Trata-se de um método mais lento, trabalhoso e suscetível à propagação de erros, sobretudo em objetos patrimoniais com geometrias complexas. Neste cenário, técnicas de levantamento digital 3D como a aerofotogrametria utilizando veículos aéreos não tripulados (VANTs), também conhecidos como drones e levantamentos por escaneamento a laser (ou *laser scanning*) passaram a ser exploradas como alternativas viáveis para a coleta precisa de dados, especialmente em contextos onde o levantamento direto apresentasse limitações operacionais ou financeiras.

A fotogrametria consiste na obtenção de informações confiáveis sobre objetos físicos e o ambiente por meio do registro, medição e interpretação de imagens fotográficas (Awange *et al.*, 2013). Quando realizada com o uso de VANTs, essa técnica é denominada aerofotogrametria. O procedimento baseia-se na captura de múltiplas imagens de um objeto ou área, a partir de diferentes ângulos, para posterior reconstrução tridimensional por meio de softwares especializados. Já o escaneamento a *laser* consiste na captura precisa de informações tridimensionais sobre objetos ou ambientes por meio da emissão de feixes de laser e da medição do tempo de retorno desses pulsos (Wehr e Lohr, 1999).

A partir desses princípios, é possível gerar o que se chama de nuvem de pontos (ou *point clouds*) que é uma coleção de vários pontos, cada um com uma coordenada precisa em um espaço tridimensional (X, Y, Z), representando a superfície de objetos ou estruturas (Groetelaars, 2015; Bello *et al.*, 2020) e que caracteriza precisamente a geometria e a topografia da superfície escaneada. Essas nuvens de pontos, em geral podem ser utilizadas como base para modelagens tridimensionais e representam uma grande potencialidade para trabalhos na área do patrimônio pois têm precisão milimétrica e permite um levantamento não (ou pouco) destrutivo de bens em situações de degradação.

Dentro do setor AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção), a potencialidade das nuvens de pontos passou a ser reconhecida como um recurso com potencial para embasar modelagens *Building Informating Modelling* (BIM). Neste estudo, consideraremos BIM como um processo de modelagem digital que abrange todas as fases do ciclo de vida de uma construção, da concepção à demolição, integrando informações relevantes sobre o edifício em um modelo digital contendo dados para processamento automático, garantindo precisão e atualização contínua.

Teoricamente, o modelo BIM, independente de software específico, favorece a interoperabilidade (comunicação) entre diferentes plataformas, promovendo cooperação eficaz e acessibilidade a todos os envolvidos na construção e oferecendo uma visão abrangente e precisa do projeto e construção, indo além da representação da geometria física do edifício (Borkowski, 2023; Kia, 2013; ISO, 2018; Pocobelli, 2018).

A partir da associação das nuvens de pontos e da modelagem BIM o que se conhece como *Heritage/Historic Building Informing Modelling* (HBIM), conceituado pela primeira vez por Murphy *et al.* (2009). Basicamente, eles conceituaram um processo que consistia em utilizar as nuvens de pontos e alguns documentos históricos de arquitetura para criar uma biblioteca de objetos paramétricos. Contrariamente a essa ênfase na integração de nuvens de pontos como base geométrica primária, Barsanti *et al.* (2022) apresentam uma perspectiva que, embora também utilize o ambiente BIM para modelagem de objetos de valor histórico-patrimonial, não se restringe à utilização de nuvens de pontos. Na reconstrução 3D do edifício realizada no estudo, a base está em iconografias preexistentes e documentações históricas detalhadas, como uma laje de mármore do século I d.C. que com plantas dimensionadas.

Ou seja, a pesquisa em HBIM ainda se encontra em estágio conceitual, correspondente a uma fase de pré-paradigma segundo a teoria científica (Zhang *et al.*, 2022). Não há, até este momento, um entendimento fechado quanto ao conceito de HBIM. Por esse motivo é necessário salientar que neste trabalho o HBIM é entendido como um processo que utiliza dados como documentos históricos e iconográficos, juntamente de dados de registro baseados na realidade, como nuvens de pontos 3D, obtidas por fotogrametria e levantamento a laser, para recriar objetos históricos em um ambiente digital e enriquecer estes modelos com informações a seu respeito, relativas a materiais, defeitos, condições e histórico das construções em questão. Esse modelo deve promover a colaboração entre equipes envolvidas, prezando, assim como o BIM, pelo acesso às diversas 'camadas' do objeto com valor patrimonial e pela fácil interoperabilidade do modelo.

Em um modelo voltado ao patrimônio histórico, no entanto, o acesso às camadas do objeto se dá de uma forma diferente. Os profissionais envolvidos no processo de salvaguarda não são apenas do setor AEC, mas sim uma equipe bem mais diversa composta, muitas vezes, por arqueólogos, historiadores, antropólogos,

conservadores e restauradores, museólogos, entre outros. Isso fez com que surgisse, a partir do modelo HBIM, a necessidade de se discutir interface e acessibilidade dos modelos criados. Então, passou-se a discutir sobre realidades estendidas (xR) enquanto ferramentas que possibilitam novas formas de acesso, visualização e interação com os modelos. A explicação do que se entende como xR começa pela própria sigla aqui utilizada, o x, nesse caso, ocupa sua função de incógnita, de variável, representando as diferentes modalidades de 'tecnologias projetadas com fins de imersão'.

Essa conceituação será aprofundada no decorrer do texto aqui trabalhado, mas o mais importante é entender que xR abarca tanto a realidade virtual (RV) quanto a realidade aumentada (RA). A distinção fundamental entre ambas, conforme Rauschnabel *et al.* (2022), reside na percepção do usuário sobre a presença ou ausência visual do ambiente físico local na experiência. Há definições que levam em conta aspectos referentes ao 'nível de imersão' que cada tecnologia deveria proporcionar; entretanto, neste momento, o objetivo é apenas situar o significado dos conceitos utilizados, sem se deter, por ora, em discussões terminológicas mais complexas.

Portanto, neste estudo entende-se a RV como um ambiente digital gerado por computador, capaz de ser experienciado de maneira interativa, simulando o real (físico) (Jerald, 2015). E RA como um meio no qual a informação digital é sobreposta ao mundo físico e que é interativo em tempo real (Craig, 2013). O que importa, de fato, é que se entende, aqui, as xRs como tecnologias que oferecem interfaces visuais e interativas que podem potencializar o significado e o acesso a modelos digitais, expandindo as possibilidades de documentação, análise, gestão, conservação, comunicação e difusão do patrimônio cultural.

Dado o caráter técnico e interdisciplinar dos conceitos abordados nesta dissertação, que envolvem os campos da arquitetura, do patrimônio e da tecnologia, optou-se por manter, ao longo do texto, determinados termos em sua forma original, sem traduzi-los (por exemplo: *frontend*, *backend*, *extended reality*, *storytelling*). Essa decisão decorre do uso consolidado dessas expressões na literatura científica e da intenção de preservar a precisão e o sentido técnico-conceitual empregados nas fontes consultadas. Embora existam traduções possíveis para alguns desses termos, nesta pesquisa optou-se por adotar a forma mais recorrente nas publicações especializadas, garantindo coerência terminológica e alinhamento com o vocabulário

técnico da área. Dito isso, todos os conceitos serão explicados e contextualizados ao longo da dissertação, sem prejuízo à compreensão do texto.

## **1.2 Trajetória e motivação de pesquisa**

Esta pesquisa nasceu de uma inquietação ampla e gradualmente se consolidou em um recorte específico de investigação. Aqui, o processo de delimitação revelou-se tão significativo quanto os resultados obtidos ao final do estudo. Como disse o poeta espanhol Antônio Machado: “caminhante, não há caminhos, faz-se o caminho ao andar”, essa dissertação tomou forma no decorrer do caminho por ela percorrido, e a sua delimitação foi sendo construída ao longo do próprio percurso investigativo. Esse processo de pesquisa, na realidade, foi iniciado antes mesmo do meu ingresso no mestrado, em diálogo com experiências acumuladas ao longo da minha trajetória acadêmica e profissional.

Durante minha graduação, tive a oportunidade de atuar em diferentes frentes da salvaguarda patrimonial. Passei por um estágio no Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional de Mato Grosso (IPHAN/MT), depois no Plano de gestão para o patrimônio histórico de Cuiabá, participei de extensão voltada a ações relacionadas a conservação e preservação do centro histórico de Cuiabá e também trabalhei por um tempo em um escritório especializado em conservação e restauro. Em cada um destes lugares, pude entender as complexidades inerentes às relações entre os diferentes agentes envolvidos na salvaguarda patrimonial e também entender um pouco sobre os desafios técnicos que muitas vezes atravessam as práticas de salvaguarda.

Em certo momento nessa trajetória, me deparei com a oportunidade de, fora da área patrimonial, trabalhar com (aero)fotogrametria e tecnologias de sensoriamento remoto. Foi quando passei a conhecer as possibilidades advindas destas tecnologias e a ter curiosidade a respeito da utilidade das mesmas em relação às questões relacionadas aos processos de documentação, monitoramento e análise de bens patrimoniais. Essa aproximação despertou reflexões sobre de que maneira tais tecnologias poderiam contribuir para enfrentar limitações recorrentes nas abordagens tradicionais de salvaguarda, o que me proporcionou encontrar o HBIM, que logo se apresentou como uma possibilidade para integrar e ampliar essas práticas.

Como eu disse no início, este processo nasceu de uma inquietação ampla e foi sendo delimitado ao longo do tempo. Quando iniciei o mestrado, queria investigar o HBIM para além do seu potencial de precisão e adição de informação, e entender que

outras possibilidades existiriam neste tipo de modelo. O mestrado enquanto espaço de vivência acadêmicas e trocas de conhecimentos, possibilitou que eu tivesse trocas com pesquisadores que trabalhavam com investigações sobre xR, dentre eles, meu orientador. Isso abriu meu horizonte para uma inquietação, ainda ampla, sobre ‘o que as xR poderiam adicionar de positivo ao HBIM?’

Dito isso, meu primeiro passo para desenvolver a pesquisa aqui presente, foi partir para uma revisão bibliográfica sistemática que, segundo Petticrew e Roberts (2006), é indicada em situações de incerteza como esta que eu me encontrei, para que assim se possa encontrar sínteses do conhecimento do campo, identificar prioridades de pesquisa e abordar questões não respondidas por estudos individuais. Portanto, realizei a revisão cuja questão a ser respondida era: ‘Como a integração entre HBIM e xR pode ser desenvolvida, desde a etapa de levantamento de dados até a conexão e interoperabilidade entre as tecnologias, para atender às demandas práticas e metodológicas na modelagem e documentação de patrimônios históricos?’.

De fato, realizar esta revisão foi o que me possibilitou, enfim, identificar o recorte do desenvolvimento delineado no decorrer desta pesquisa. No levantamento documental, identificou-se uma vertente de modelagem HBIM que diverge das abordagens convencionais, fundamentando-se em análises e preceitos da arqueologia da arquitetura, mais especificamente conceitos como estratigrafia e unidades estratigráficas (UEs). Isso se alinhou com minhas inquietações anteriores pois revelou uma forma de modelagem mais sensível às camadas temporais, às alterações materiais e às múltiplas narrativas que atravessam os bens patrimoniais.

Em vez de tratar os elementos arquitetônicos como entidades meramente geométricas, essa abordagem busca incorporar uma perspectiva mais interpretativa e processual na modelagem. Isso, de certa forma, faz com que o modelo HBIM aumente sua utilidade em relação ao planejamento preliminar de intervenções de conservação, devido a decomposição semântica aplicada ao modelo e a bidirecionalidade entre o modelo e as informações associadas (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2021). Isso justifica a associação de tal metodologia de modelagem com as xR: a intenção ao incorporar outras formas de interface de interação, é permitir o acesso maior a informações por um público mais diversificado.

Foi a partir desse referencial que o recorte da pesquisa pôde ser, enfim, delineado, articulando as possibilidades de integração entre HBIM e dispositivos xRs sob a ótica da documentação patrimonial orientada por princípios da arqueologia da

arquitetura. Com isso, o próximo passo passou a ser a busca por um estudo de caso onde faria sentido aplicar tais conhecimentos para investigar, assim, sua aplicabilidade. Então, nesse momento, surgiu a oportunidade de integrar a equipe do projeto “Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM”, no âmbito do edital universal Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) 18/2021, (processo CNPq nº 405146/2021-3).

O objetivo deste projeto é desenvolver metodologias integradas para a gestão de riscos e a conservação do patrimônio cultural edificado, com ênfase na documentação diagnóstica científica, articulando modelagens tridimensionais, ferramentas BIM e técnicas de monitoramento para aprimorar a identificação de danos e a compreensão da materialidade de bens culturais, especialmente os constituídos em pedra. O foco do trabalho estava, então, alinhado com o meu, especialmente no que se refere à ênfase na documentação diagnóstica como etapa estratégica para a preservação do patrimônio, utilizando (H)BIM. A partir da participação no projeto, foi possível acessar um objeto de estudo que reunia condições favoráveis para investigar a aplicabilidade dos conceitos levantados na minha revisão sistemática: O medalhão localizado na fachada da Igreja São Francisco de Assis, em Ouro Preto – MG.

É importante salientar que a escolha de método de modelagem do medalhão no âmbito do projeto se alinhou aos preceitos da modelagem a partir de UEs, o que foi positivo para o desenvolvimento desta pesquisa. Quando adentrei ao projeto, este já estava iniciando a etapa de desenvolvimento do modelo, entretanto tendo passado pelo processo de levantamento anteriormente que empregou um conjunto diversificado de técnicas de ensaios não destrutivos, visando a obtenção de uma visão abrangente tanto da tecnologia construtiva quanto do estado de conservação do objeto de estudo. Isso também se alinhou com a metodologia recortada para o desenvolvimento dessa dissertação.

A partir de então, passei a trabalhar com a equipe de desenvolvimento tecnológico do modelo, atuando mais diretamente na elaboração do modelo HBIM a partir dos dados levantados. Além desse desenvolvimento, meu foco também estava em investigar a aplicação desse modelo em outros tipos de interfaces, tendo como intenção a elaboração de um protótipo que permitisse se aproximar das ideias de acessibilidade ampliada à informação e de interação entre diferentes perfis de usuários e o modelo HBIM.

### 1.3 Objetivos

#### Objetivo geral

Propor e investigar a aplicabilidade de uma metodologia de modelagem HBIM, fundamentada em princípios da arqueologia da arquitetura e no uso de unidades estratigráficas, para a representação do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto, explorando o potencial de sua integração com um protótipo de website com recursos básicos de Realidade Estendida (xR).

#### Objetivos específicos

- a. Realizar uma revisão sistemática da literatura para mapear as abordagens existentes de criação de modelos de xR no contexto do HBIM e identificar as lacunas e oportunidades de estudo que motivam esta pesquisa;
- b. Investigar os conceitos fundamentais da arqueologia da arquitetura, especialmente a ideia de estratigrafia e UEs como base para a modelagem HBIM;
- c. Discutir a integração entre o HBIM e as tecnologias xR no contexto da documentação e comunicação do patrimônio cultural edificado, por meio da análise de referências teóricas e estudos aplicados que exemplificam essa convergência.
- d. Identificar uma metodologia de modelagem HBIM que integre os princípios das UEs, com base em estudos levantados na etapa de revisão sistemática e aplicar esse conhecimento à modelagem do medalhão da fachada da Igreja de São Francisco de Assis, em Ouro Preto/MG;
- e. Desenvolver um protótipo de *website* com recursos básicos de xR, que integre a navegação pelo modelo HBIM baseado em UEs do medalhão e o acesso a informações contextuais do bem patrimonial;
- f. Discutir a aplicação da metodologia adotada e a funcionalidade do protótipo desenvolvido, considerando as especificidades do caso estudado e suas possíveis limitações técnicas e operacionais;

#### 1.4 Metodologia

A pesquisa adota o *Design Science Research* (DSR) como abordagem

metodológica, que tem como referência central o trabalho de Simon (1996). O DSR concentra-se no estudo e análise do *artificial*<sup>3</sup>, investigando seu funcionamento tanto no âmbito teórico quanto prático. A metodologia se propõe a projetar *artefatos*<sup>4</sup> para solucionar problemas, avaliar o que foi projetado ou o que está funcionando, e comunicar os resultados obtidos (Lacerda *et al.*, 2013). Então, o DSR segue um ciclo que envolve a concepção desses artefatos, sua avaliação crítica e a divulgação dos resultados obtidos.

É válido salientar que “o conhecimento desenvolvido pelo DSR não é descritivo-explicativo, ele é prescritivo” (Lacerda *et al.*, 2013, p. 744), pois se orienta à proposição de soluções partindo de uma *classe de problemas*<sup>5</sup>, ou seja, partindo de um conjunto de desafios práticos ou teóricos. Esse tipo de pesquisa busca produzir conhecimento aplicado, contextualizado e validado por sua utilidade prática, articulando teoria e ação de forma integrada (Lacerda *et al.*, 2013). Nesta pesquisa, fundamenta-se tal escolha metodológica dado que o estudo aqui desenvolvido não se limita à compreensão teórica de um fenômeno, mas visa desenvolver e testar uma solução prática, uma proposição de uma forma de modelagem HBIM específica, baseada na arqueologia da arquitetura, mais especificamente no uso das UEs, com posterior criação de um protótipo de aplicação em um *website* + RA. É, então, prudente que se apresente inicialmente as classes de problemas identificadas nesta pesquisa e os artefatos em que se focalizará o desenrolar do estudo, conforme a Figura 01.

Figura 01 - Lógica para a construção das Classes de Problemas.

---

<sup>3</sup> Simon (1996) define que as “ciências do artificial” se ocupam da “concepção de artefatos que realizem objetivos” (Simon, 1996, p. 198). Ou seja, as ciências do artificial dizem respeito a como as coisas devem ser para funcionar e atingir determinados objetivos (Lacerda *et al.*, 2013).

<sup>4</sup> “Os artefatos são [...] objetos artificiais que podem ser caracterizados em termos de objetivos, funções e adaptações. São normalmente discutidos, particularmente durante a concepção, tanto em termos imperativos como descritivos” (Simon, 1996, p. 28). Como artefatos pode-se entender construções intencionais, dotadas de objetivos específicos e adaptadas a contextos reais, como por exemplo modelos, sistemas, processos ou qualquer outra forma de intervenção projetada para resolver problemas identificados.

<sup>5</sup> Classe de problemas é “(...) a organização de um conjunto de problemas, práticos ou teóricos, que contenha artefatos avaliados, ou não, úteis para a ação nas organizações” (Lacerda *et al.*, 2013, p. 747).



Fonte: Lacerda *et al.* (2013, p. 747)

Esclarecendo a Figura 01, observa-se que o processo representado se inicia pela etapa de conscientização, em que ocorre o levantamento de um problema prático ou teórico inicial. Em seguida, a revisão sistemática da literatura contribui para refinar essa percepção inicial, permitindo identificar padrões, lacunas e abordagens recorrentes, o que culmina na formulação de uma classe de problemas. A etapa final do diagrama, denominada localização dos artefatos, pode gerar dúvidas quanto à sua interpretação, uma vez que, à primeira vista, o termo 'localização' parece sugerir a simples identificação de soluções já existentes. No entanto, esta etapa diz respeito à definição do tipo de artefato que será desenvolvido, ou seja, à identificação de qual estrutura ou solução prescritiva se mostra mais adequada à classe de problemas a ser reconhecida.

Sabendo que, segundo Lacerda *et al.*, (2013), desenvolver uma revisão sistemática de literatura é parte essencial da conscientização e levantamento do problema prático ou teórico inicial, conseqüentemente, parte da definição das classes de problemas e posteriormente dos artefatos propostos, adotou-se como primeiro ato processual desta pesquisa a realização de uma revisão sistemática. Por meio dela, foi possível identificar a lacuna investigativa que fundamenta o presente estudo. Tal procedimento, devidamente retratado no Capítulo 02 desta dissertação, configura-se como fase preliminar indissociável do processo de investigação científica aqui desenvolvido, cumprindo função exploratória essencial para a caracterização do objeto de estudo.

Esta revisão bibliográfica sistemática seguiu rigorosamente os protocolos estabelecidos por Petticrew e Roberts (2006), os quais preconizam a aplicação de métodos científicos explícitos para minimizar vieses sistemáticos durante o processo de identificação, avaliação e síntese de todos os estudos relevantes sobre o tema. O

emprego dessa abordagem permitiu evidenciar o recorte a ser trabalhado neste estudo, dentre todas as possibilidades de discussões que suscitam da relação entre xR e HBIM. A descrição detalhada do desenvolvimento deste processo está registrada na seção metodológica do próprio Capítulo 02, onde são apresentados os critérios de inclusão e exclusão de fontes, as bases de dados consultadas e as estratégias de busca empregadas. Neste momento, então, serão apresentadas as classes de problemas derivadas deste processo de levantamento sistemático e os artefatos advindos destas classes de problemas (tabela 01).

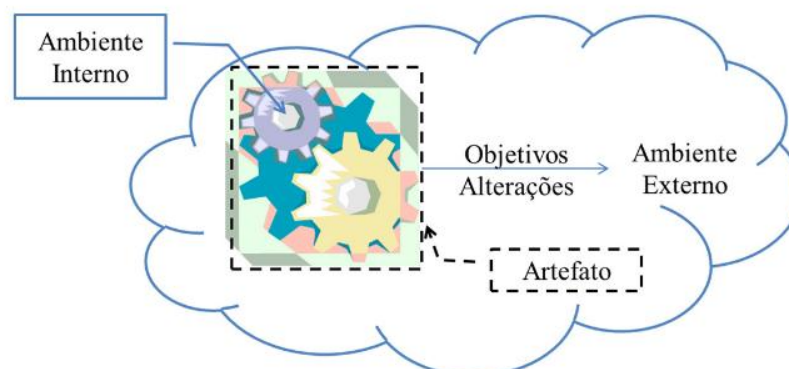
Tabela 1 – Classes de problemas encontradas na revisão sistemática e artefatos deste estudo

Classe de problemas	Artefatos propostos
<p>A modelagem HBIM convencional opera sob uma lógica geométrica e estática, focada na representação de elementos construtivos isolados (paredes, pisos, coberturas) sem necessariamente incorporar as relações estratigráficas que definam a história material das edificações.</p>	<p>Novo fluxo de trabalho: modelagem baseada em UE em que cada uma delas (que podem ser definidas utilizando critérios como: etapa de trabalho x, materiais do tipo y, intervenção da data x...) seja modelada como entidade independente, com possibilidade de inserção de atributos de materialidade, cronologia, história e relação com outras UEs.</p>
<p>A análise estratigráfica (Harris, 1989) exige que interfaces entre UEs (limites físicos entre camadas) sejam registradas como elementos-chave. No processo de modelagem HBIM essas interfaces são tratadas como meras "linhas de junção", sem atributos associados a elas;</p>	
<p>Não é comum que se modelem as unidades negativas (ex.: falhas, remoções), essenciais para entender processos destrutivos pelos quais os objetos com valor patrimonial passaram (Genovez, 2012; Demetrescu, 2015; Banfi <i>et al.</i> 2022a).</p>	
<p>A estratigrafia arquitetônica requer um tipo de leitura não linear (Villela, 2015), mas o BIM convencional impõe hierarquias rígidas (ex.: paredes como objetos únicos, sem subdivisões por fase histórica). A modelagem tradicional normalmente segue o que é posto pela interface de softwares BIM;</p>	<p>Modelagem HBIM baseada em UEs do medalhão da Igreja São Francisco de Assis em Ouro Preto, aplicando a metodologia levantada e considerando as particularidades inerentes ao objeto de estudo e posterior sistematização de um protótipo de um <i>site</i> com xR que tem como foco o acesso contextual via <i>hiperlinks</i> a documentos relevantes como relatórios, iconografia, levantamento fotogramétrico, análises materiais, entre outros; Espera-se a possibilidade se navegar por cada UE do medalhão a partir de uma interação mais intuitiva e acessível para diferentes perfis de usuários (especialistas e comunidade);</p>
<p>Modelos HBIM raramente incluem campos para datação relativa ou hipóteses interpretativas (Banfi <i>et al.</i>, 2022).</p>	

Fonte: Elaborado pela autora, 2025

Um artefato é uma construção artificial intencionalmente projetada para cumprir objetivos específicos em um determinado contexto. Ele se caracteriza por sua natureza dual (figura 02), compreendendo um ambiente interno (sua estrutura e organização intrínsecas, incluindo componentes, funções e relações entre partes) e um ambiente externo (o contexto em que opera e os problemas que busca resolver). O artefato funciona como uma interface mediadora entre necessidades externas e soluções internas, sendo seu design uma adaptação deliberada para alcançar fins específicos (Simon, 1996; Lacerda *et al.*, 2013).

Figura 02 - Funcionamento de artefato



Fonte: Lacerda *et al.* (2013, p. 747) com base em Simon (1996).

Uma vez definidos os artefatos, é possível, também, tipificá-los. Em pesquisas de DSR, os artefatos se dividem em quatro tipos principais (March e Smith, 1995, p. 257-258): i) **constructos** - conceitos básicos que definem o vocabulário da área; ii) **modelos** - representações que mostram relações entre conceitos; iii) **métodos** - conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa; iv) **instanciações** - concretização de um artefato em seu ambiente, aplicação prática de constructos, modelos e métodos.

É necessário, também, avaliar o artefato proposto, dada a necessidade de “demonstrar e justificar os procedimentos adotados para aumentar a confiabilidade do artefato e de seus resultados quando em uso.” (Lacerda *et al.*, 2013, p. 756). Para isso, também são utilizados alguns métodos de avaliação, propostos por Hevner, March e Park (2004, p. 86), são eles: i) **observacional** - avalia-se o artefato a partir da sua aplicação em contextos reais, como estudos de caso ou de campo; ii) **analítico** - examina-se o artefato teoricamente, por meio de análises estruturais, arquiteturas, de desempenho ou de otimização; iii) **experimental** - testa-se o artefato em ambientes controlados ou simulados para verificar seu comportamento e eficácia; iv) **teste** - realizam-se testes técnicos diretos, funcionais ou estruturais, para identificar falhas e validar implementações; v) **descritivo** - avalia-se o artefato com base em argumentos teóricos ou construção de cenários que evidenciem sua utilidade. Na tabela 02 resume-se os tipos e métodos avaliativos utilizados:

Tabela 2 – Classes de problemas e artefatos deste estudo

Artefato	Tipo	Justificativa do tipo	Método avaliativo	Justificativa do método avaliativo
----------	------	-----------------------	-------------------	------------------------------------

Novo Fluxo de Trabalho: Modelagem Baseada em UE	Método	É uma orientação para executar a tarefa de modelagem HBIM com base em UEs; Parte de constructos (ex.: "UE", "estratigrafia arquitetônica") e modelos (ex.: digitalização do medalhão e modelagem HBIM).	Teste	Realizam-se testes técnicos diretos, funcionais ou estruturais, para identificar falhas e validar implementações → fazer uma modelagem do zero levando em consideração a ideia de UEs;
Modelagem HBIM baseada em UEs e protótipo de site com RA	Modelo	É uma implementação representativa que visa uma operacionalização entre diferentes constructos;	Descritivo	Avalia-se o artefato com base em argumentos teóricos ou construção de cenários que evidenciem sua utilidade → criação de um protótipo que evidencie a utilidade de uma interface mais acessível para HBIM e que se adeque às demandas de modelagem com base em UEs

Fonte: Elaborada pela autora, 2025.

Encerrada a descrição metodológica, passa-se à apresentação da estrutura básica da dissertação, que irá esclarecer como a apresentação do trabalho se dará.

### 1.5 Apresentação da estrutura básica da dissertação

O **Capítulo 1** introduz a dissertação ao estabelecer as bases conceituais, contextuais e metodológicas do estudo. Inicia com um panorama das tecnologias-chave, como fotogrametria, *laser scanning*, nuvens de pontos, BIM, HBIM e xR, para situar o leitor no universo técnico do trabalho. Em seguida, apresenta a trajetória e motivação da autora, destacando sua experiência com salvaguarda patrimonial e tecnologias digitais, e como isso levou à articulação entre HBIM e xR no contexto da pesquisa, integrando-se a um projeto CNPq. Os objetivos são explicitados, com foco em propor e investigar uma metodologia de modelagem HBIM fundamentada na arqueologia da arquitetura e no uso de UEs, aplicada ao medalhão da Igreja de São Francisco de Assis, com integração a um protótipo web com RA. A metodologia da dissertação, baseada no DSR, é apresentada como estratégia para desenvolvimento e avaliação de artefatos, com destaque para a revisão sistemática da literatura como ponto de partida. Por fim, o capítulo apresenta a estrutura da dissertação, orientando o leitor quanto ao seu desenvolvimento. Trata-se, portanto, de um capítulo

fundamental para contextualizar, justificar e estruturar toda a pesquisa.

O **Capítulo 2** cumpre o objetivo específico de realizar uma revisão sistemática da literatura para mapear as abordagens existentes de criação de modelos de xR no contexto do HBIM e identificar as lacunas que fundamentam a proposta desta pesquisa. A revisão adotada o método PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses*) e as diretrizes de Petticrew e Roberts (2006) para sua execução. A pergunta que orienta a revisão, sobre como a integração entre HBIM e xR pode ser desenvolvida desde o levantamento até a interoperabilidade tecnológica, estrutura as etapas subsequentes, que incluem a definição de estratégias de busca, a seleção de bases (*Scopus, Web of Science e Science Direct*), a filtragem de resultados e a retenção de 27 estudos. A avaliação dos trabalhos revelou a centralidade de temas como documentação, gestão, modelagem e interconexão com a arqueologia. A seção sobre conceitos esclarece conceitos centrais como patrimônio digital, patrimônio virtual, RA, RV, RM e xR, discutindo a polissemia envolvida nestas tecnologias. A síntese dos estudos aponta os principais enfoques abordados e identifica a interpretação e reconstrução arqueológica como lacuna relevante a ser aprofundada. A conclusão retoma como essa revisão sustentou a delimitação do objeto de estudo e orientou a condução metodológica da pesquisa, funcionando como base teórica estruturante para os capítulos seguintes.

O **Capítulo 3** aprofunda os fundamentos teórico-metodológicos da arqueologia da arquitetura e sua articulação com o HBIM, cumprindo o objetivo de investigar a estratigrafia e as UEs como base conceitual para a modelagem digital do patrimônio. São discutidas a análise estratigráfica como ferramenta essencial para compreender transformações construtivas ao longo do tempo, a documentação sistemática como prática estruturante na preservação e a contribuição das tecnologias digitais na renovação desses registros. Também se explora a adaptação do conceito de UEs ao campo arquitetônico, incluindo categorias como UEs negativas e virtuais, e apresenta propostas como o *Building Archaeology Informative Modelling* (BAIM). Assim, o capítulo estabelece a base conceitual para a aplicação das UEs no HBIM, estruturando a metodologia a ser aplicada no estudo de caso.

O **Capítulo 04** discute as interseções entre HBIM e tecnologias xR, abordando suas questões operacionais, conceituais e narrativas no contexto da gestão e comunicação do patrimônio cultural. Discute-se o uso do HBIM como infraestrutura digital para a aplicação das xR, com destaque para o potencial dessas tecnologias na

visualização interativa, na colaboração remota e na construção de narrativas que envolvam tanto o patrimônio tangível quanto o intangível. São explorados aspectos técnicos como interoperabilidade, *metadata*, *paradata* e níveis de detalhe, alertando para os riscos de simplificação indevida. O capítulo enfatiza a importância de uma mediação tecnológica crítica e contextualizada, fundamentando teoricamente o desenvolvimento do capítulo de estudo de caso.

O **Capítulo 5** apresenta a aplicação prática da metodologia desenvolvida na dissertação, por meio do estudo de caso do medalhão da fachada da Igreja de São Francisco de Assis em Ouro Preto. O capítulo descreve a contextualização histórica do objeto de estudo e detalha a segmentação do medalhão em UEs, justificando essa escolha pela aderência à lógica construtiva e à análise de intervenções. São descritas as etapas de levantamento, processamento e modelagem, com uso de diversas tecnologias e *softwares*. A modelagem HBIM é integrada a uma plataforma digital interativa, optando-se pela publicação em interface web e uso do *Sketchfab* para visualização tridimensional, com anotações e animações explicativas. O desenvolvimento do protótipo de *website* no *Wix* visa centralizar as informações contextuais e integrar o modelo 3D, aplicando princípios de *storytelling* para potencializar a comunicabilidade. O capítulo consolida os resultados técnicos da pesquisa, atendendo aos objetivos específicos relacionados à modelagem HBIM e à criação de um protótipo digital com recursos de realidade aumentada.

O **Capítulo 6** encerra a dissertação ao sintetizar os principais achados, destacando a importância da revisão sistemática na definição do recorte temático centrado na aplicação da arqueologia da arquitetura à modelagem HBIM como estratégia de salvaguarda patrimonial. Reitera-se o valor da documentação criteriosa dos bens culturais, conforme diretrizes internacionais. A contribuição da arqueologia da arquitetura para aprimorar o HBIM é evidenciada no estudo de caso do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis, e justifica-se a integração com tecnologias xR como forma de ampliar a comunicação e o acesso ao patrimônio. Aponta-se algumas limitações operacionais, como o tempo reduzido do mestrado, que levaram à adoção de uma solução híbrida com RA simplificada e protótipo web. A cadeia procedimental é revisitada, abordando as etapas de produção do estudo de caso. O capítulo finaliza propondo desdobramentos futuros e reafirma a relevância do trabalho como base para novas investigações sobre HBIM, xR e arqueologia da arquitetura no Brasil.

## **2 REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA**

### **2.1 Introdução da revisão bibliográfica sistemática**

Para Gerhardt e Silveira (2009, p. 68), o principal objetivo de uma revisão de literatura é “expor resumidamente as principais ideias já discutidas por outros autores que trataram do problema, levantando críticas e dúvidas, quando for o caso”. Segundo Petticrew e Roberts (2006), uma revisão sistemática de literatura é indicada em situações de incerteza, como ao avaliar a eficácia de uma política ou serviço com base em pesquisas prévias, nas etapas iniciais de desenvolvimento de políticas, para compreender os possíveis efeitos de intervenções, quando há uma ampla gama de estudos sobre um tema, mas questões-chave, como tratamento, prevenção, diagnóstico, etiologia ou experiências humanas, permanecem sem resposta ou quando se deseja fornecer uma visão geral do estado da evidência em uma área, orientando pesquisas futuras, ou para obter um panorama preciso de estudos passados e metodologias, contribuindo para o desenvolvimento de novas abordagens.

No âmbito deste trabalho, a realização de uma revisão sistemática encontra sua principal motivação na necessidade de identificar estudos de relevância acerca da integração de modelos digitais HBIM com os dispositivos de RV e RA. Este esforço visa mapear o estado da arte, evidenciar lacunas na literatura científica e, com isso, subsidiar a delimitação precisa do recorte investigativo, orientando a formulação das questões de pesquisa e a escolha dos artefatos a serem desenvolvidos no decorrer da pesquisa do mestrado. Esta etapa, então, foi organizada da seguinte forma: primeiro é feita uma descrição do protocolo de revisão, garantindo a replicabilidade da pesquisa, abordando questões como a definição da questão de pesquisa, a estratégia de busca, a coleta de dados e a filtragem dos resultados. Depois será apresentada a avaliação dos artigos, abordando critérios qualitativos gerais de publicação dos trabalhos e por fim, será apresentada a síntese dos estudos.

### **2.2 Descrição do protocolo de revisão**

Buscou realizar o estabelecimento de um protocolo de revisão a priori, para garantir teoricamente a replicabilidade dos procedimentos, permitindo que outros pesquisadores refaçam esta mesma pesquisa (Galvão e Pereira, 2014). Entendendo

que as revisões sistemáticas devem fornecer sínteses críticas do conhecimento, identificar prioridades de pesquisa e abordar lacunas que estudos individuais não conseguem resolver (Page *et al.*, 2022), o presente estudo adotou uma abordagem metodológica consolidada, fundamentada na transparência e na replicabilidade: o método PRISMA. Esta escolha, justifica-se pela necessidade de delimitar critérios objetivos para a seleção, avaliação e síntese dos estudos, visando mitigar qualquer potencial viés sistemático e assegurar a replicabilidade dos resultados. Embora se reconheça que a imparcialidade absoluta seja inalcançável, dado que todo processo científico é influenciado por perspectivas e contextos, a escolha dessa metodologia visa estabelecer critérios objetivos que conferem maior transparência e reprodutibilidade ao estudo.

A metodologia PRISMA é instituída como uma ferramenta de padronização que orienta os pesquisadores a detalhar cada etapa do processo investigativo, desde a definição do protocolo e a formulação de estratégias de busca até a seleção, avaliação e síntese dos estudos incluídos. Composta por um *checklist* e um fluxograma que descreve o percurso de triagem e inclusão de registros, a metodologia enfatiza o cumprimento de critérios rigorosos que garantam a confiabilidade das conclusões apresentadas. Além desta metodologia, seguiu-se também o apontado por Petticrew e Roberts (2006), no livro “*Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide*”, resumido na figura 03 em um passo a passo. Tal abordagem complementa o protocolo PRISMA, ao fornecer diretrizes adicionais acerca da coleta de dados, avaliação da qualidade dos estudos e apresentação dos resultados.

Figura 03 - Estágios de uma revisão sistemática, adaptadas de Petticrew & Roberts (2006)



Fonte: Petticrew e Roberts (2006) | adaptado pela autora, 2024.

O primeiro passo foi a formulação de questões de pesquisa, que segundo Petticrew e Roberts (2006), exige a consideração de três aspectos fundamentais: o conhecimento prévio do pesquisador sobre o tema, a utilidade prática dos resultados e a pertinência da pergunta proposta. No contexto deste trabalho, a realização da revisão sistemática foi orientada por dois objetivos complementares: ampliar o

panorama teórico e técnico (estado da arte) sobre a integração entre HBIM e dispositivos xR, e, a partir dessa base ampliada, delimitar de forma mais precisa o recorte da pesquisa a ser desenvolvido na dissertação.

Em relação ao conhecimento prévio e à originalidade, a revisão buscou mapear as abordagens existentes na literatura sobre a aplicação de tecnologias xR no contexto do HBIM, com o intuito de compreender não apenas os fundamentos conceituais, mas também as práticas e metodologias adotadas na área. Embora a autora já possuísse familiaridade com as tecnologias de sensoriamento remoto e modelagem 3D, a revisão permitiu articular esse repertório prévio com novos referenciais e identificar zonas pouco exploradas que pudessem sustentar uma contribuição original à área. A revisão sistemática funcionou, assim, como uma ferramenta de delimitação e de descoberta e promoveu uma aproximação crítica com as articulações conceituais e técnicas existentes.

Além disso, a utilidade prática da revisão está diretamente associada ao objetivo final da pesquisa: o desenvolvimento e teste de um fluxo de trabalho para modelagem HBIM baseada em UEs e de um protótipo de interface em RA. Para que este artefato fosse aplicável, a revisão sistemática se tornou imprescindível para compreender as metodologias e os processos já adotados na área, abrangendo desde o levantamento de dados até as etapas de processamento, modelagem e inserção de informações, além da busca pela conexão e interoperabilidade entre as tecnologias. Ou seja, a pertinência da questão de pesquisa reflete uma demanda que busca estabelecer uma base sólida para a realização do estudo de caso, registrando os caminhos percorridos por outros pesquisadores, de modo a fornecer um referencial para a própria autora pesquisadora e para outros interessados no tema.

A questão central de pesquisa desta revisão, portanto, pode ser assim formulada:

‘Como a integração entre HBIM e xR pode ser desenvolvida, desde a etapa de levantamento de dados até a conexão e interoperabilidade entre as tecnologias, para atender às demandas práticas e metodológicas na modelagem e documentação de patrimônios históricos?’

Para definir a estratégia de busca, Petticrew e Roberts (2006) recomendam que seja elaborado um conjunto de palavras-chave que cubra as diferentes maneiras de definir os conceitos centrais da pesquisa, considerando sinônimos e termos alternativos, de forma a maximizar a identificação de estudos relevantes. No caso da pesquisa em questão, as palavras-chave adotadas foram 'HBIM' ou '*Historic Building*

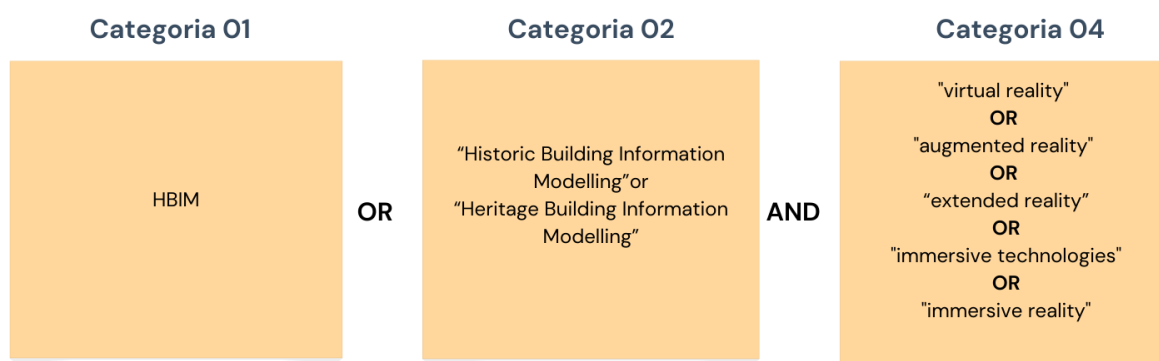
*Information Modelling* ou *Heritage Building Information Modelling*, com o intuito de abranger todas as formas de escrita e entendimento do conceito de HBIM, um dos temas centrais da investigação. A escolha desses termos foi baseada na diversidade de terminologias empregadas na literatura, de modo a garantir que todos os estudos pertinentes fossem considerados, independentemente da variação na terminologia.

Além disso, foram incluídos termos secundários como *virtual reality*, *augmented reality*, *extended reality*, *immersive technologies* e *immersive reality*, buscando cobrir os diferentes conceitos e abordagens relacionados às xR, que são partes integrantes da pesquisa. Embora esses conceitos possam suscitar debates sobre suas definições e significados, a decisão de incluí-los visou ampliar a abrangência da busca, permitindo que estudos sobre essas tecnologias fossem identificados, mesmo que não houvesse um consenso claro sobre os termos.

A *string* de busca formulada (Figura 04), portanto, foi:

HBIM OR (*Historic Building Information Modelling* OR *Heritage Building Information Modelling*) AND (*virtual reality* OR *augmented reality* OR *extended reality* OR *immersive technologies* OR *immersive reality*)

Figura 4 - Seleção das strings de busca



Fonte: Autora, 2024

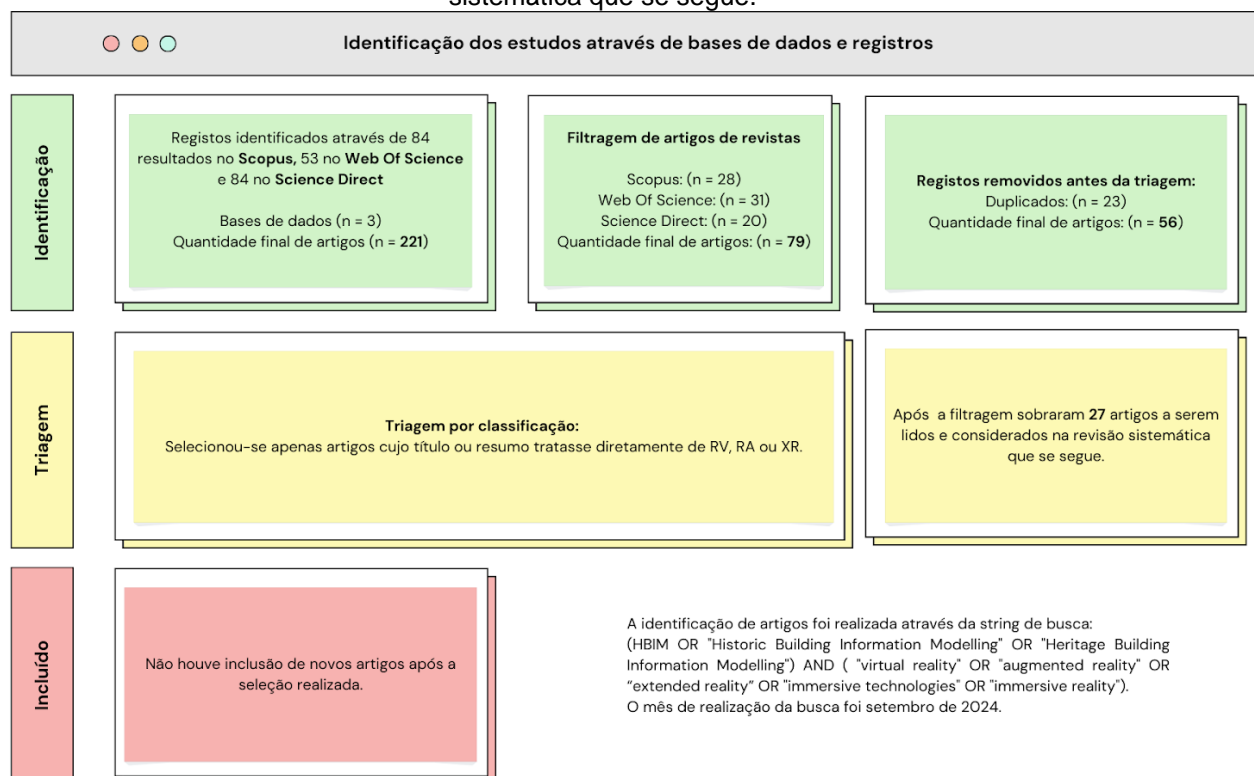
Já para realizar a coleta de dados, buscou-se por periódicos revisados por pares, uma vez que esses periódicos garantem um nível mais alto de qualidade e rigor científico. A revisão por pares assegura que os estudos incluídos na análise foram avaliados por especialistas na área antes da publicação, o que contribui para a credibilidade e a validade das pesquisas. Com base nisso, as bases de dados eletrônicas utilizadas foram *Scopus*, *Web Of Science* e *Science Direct*, sendo sua última atualização realizada no dia 11 de setembro de 2024.

Na base de dados *Scopus*, foram identificados 84 documentos. Após a exclusão de itens que não são publicações em periódicos, restaram 28 publicações relevantes. Na base de dados *Web of Science*, foram encontrados 53 documentos, dos quais 31 eram artigos de periódicos e foram selecionados. Por fim, na base *Science Direct*, foram localizados 20 documentos, já utilizando os filtros de '*subscribed journals*' e '*review articles*'. Ao final desse processo de seleção, foram totalizados 79 artigos que atendiam aos critérios estabelecidos.

Após esta coleta, iniciou-se a etapa de filtragem de resultados, que priorizou a seleção de artigos publicados em periódicos e avaliados por pares. Primeiramente, procedeu-se à exclusão de artigos duplicados. Dentre os 79 artigos inicialmente selecionados, 23 configuraram-se como duplicatas. Após essa exclusão, restaram 56 artigos para avaliação subsequente. Em seguida, foi realizada uma nova seleção com o objetivo de excluir aqueles artigos que não abordavam diretamente o HBIM em relação à RV ou RA. Após esse segundo processo de filtragem, foram retidos apenas 27 artigos, considerados adequados para leitura e para o desenvolvimento da revisão sistemática em questão.

Na figura 05 está explicitada uma releitura do fluxograma PRISMA (Apêndice 02), modificada e atualizada de acordo com a metodologia aplicada na presente revisão sistemática. Nela, é possível entender resumidamente os passos que se seguiram para a seleção dos artigos aqui considerados, sintetizando o que foi apresentado até aqui.

Figura 5 - Releitura do fluxograma PRISMA, modificado e atualizado de acordo com a revisão sistemática que se segue.

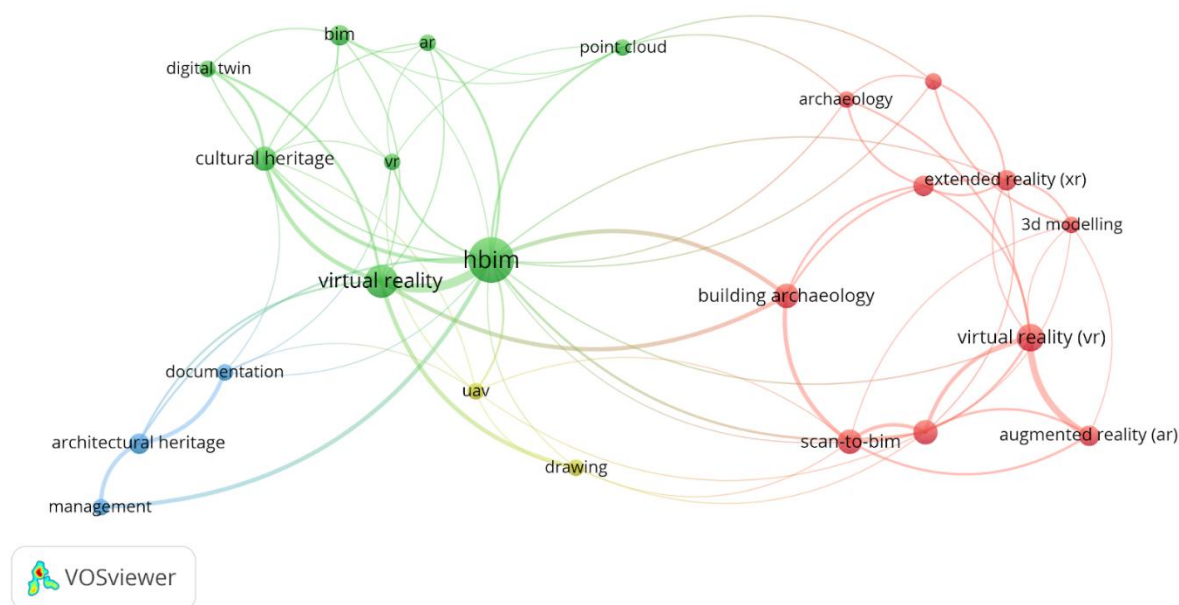


Fonte: Autora, 2024.

### 2.3 Avaliação dos trabalhos

Nesta etapa avaliou-se alguns critérios qualitativos gerais de publicação destes artigos, como por exemplo a incidência de palavras chaves que mais aparecem neste conjunto de estudos, os anos de publicação, os autores e as conexões entre eles e os países onde foram publicados. Em relação às palavras-chave, percebe-se que, conforme figura 06, o HBIM se destaca como um conceito central, evidenciado por sua posição no meio das interações com várias palavras-chave, refletindo sua priorização na *string* de busca.

Figura 6 - Incidência de palavras chaves nos artigos selecionados



Fonte: Autora, 2024 | Software VOS Viewer

As conexões significativas entre o termo HBIM e os termos *'management'* (gestão), *'documentation'* (documentação) e *'drawing'* (desenho) evidenciam as principais potencialidades da aplicação desta metodologia no âmbito da gestão e salvaguarda do patrimônio histórico e cultural. Além disso, o gráfico mostra que a discussão sobre HBIM além de estar ligada a temas como *'cultural heritage'* (patrimônio cultural) e *'architectural heritage'* (patrimônio arquitetônico), também tem conexões com termos como *'building archaeology'* (construções arqueológicas) e *'archaeology'* (arqueologia). Isso revela um campo de interseção que começa a ser explorado, sugerindo o potencial do HBIM como ferramenta de documentação arqueológica, o que ainda representa um nicho relativamente restrito, mas promissor, que acabou por culminar como o recorte da dissertação desenvolvida posteriormente a esta revisão sistemática. Outros tópicos relevantes, como 'UAV' (*Unmanned Aerial Vehicle*, ou VANT, em português), *'point clouds'* (nuvem de pontos) e *'scan-to-bim'* (escaner-para-BIM) também aparecem na visualização, ressaltando a importância das ferramentas de captura remota de dados e seu processamento no fluxo de trabalho HBIM.

Uma observação importante é que, além de conectado com o termo HBIM, em geral, as xR estão em sua maioria conectadas aos termos *'building archaeology'* e *'archaeology'*. Embora essa correlação não permita afirmar, com base apenas nesta

análise, que as metodologias associadas à arqueologia da construção estejam sistematicamente mais conectadas às tecnologias de xR que outras abordagens, o dado observável aponta que, no conjunto de artigos analisados, esse cruzamento aparece com relativa frequência. Esse indicativo levanta questões investigativas relevantes, sobretudo no que se refere às possíveis razões pelas quais esse campo específico tem promovido, de forma mais visível, a integração com tecnologias voltadas à visualização e à interação digital.

Já o gráfico que apresenta os locais de produção dos artigos selecionados para a revisão, destacam-se países como Espanha, Itália, Egito, Arábia Saudita, China, Coreia do Sul e Japão. (Figura 07). Os dados levantados nesta etapa baseiam-se em publicações indexadas em bases de dados internacionais cuja língua majoritária é o inglês. Além disso, os termos utilizados na formulação da *string* de busca também foram definidos nesse idioma. Esse recorte metodológico certamente influencia os resultados, favorecendo a visibilidade de produções acadêmicas de países onde o inglês é amplamente utilizado na comunicação científica ou onde há maior inserção em periódicos indexados internacionalmente.

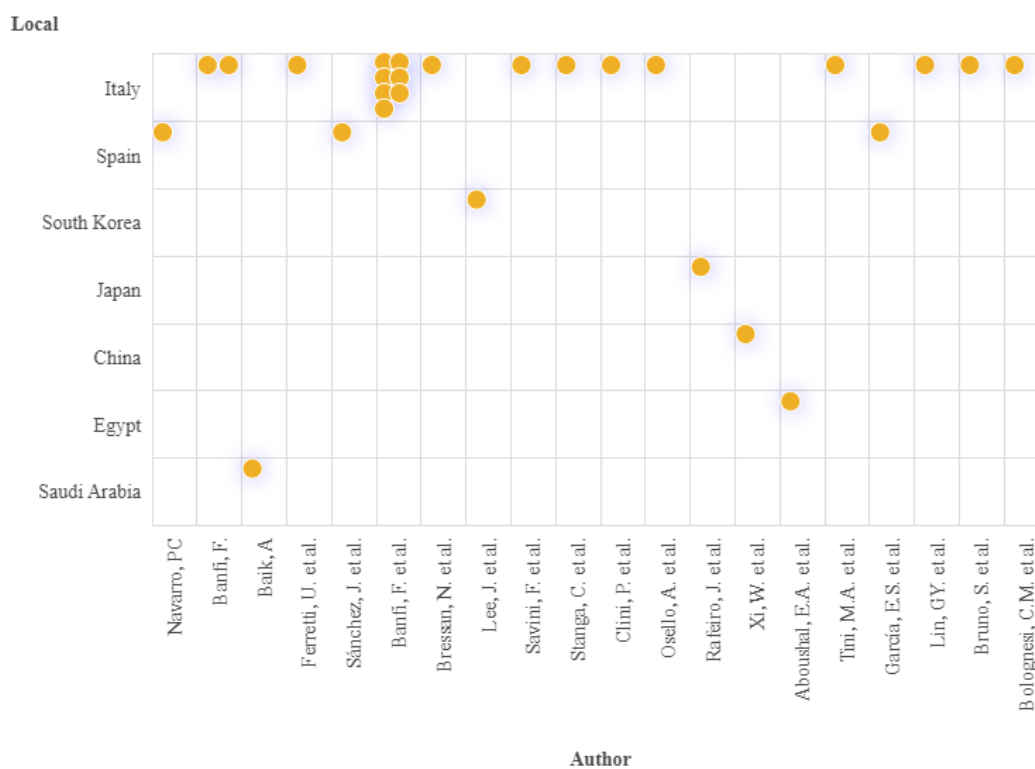
Dito isso, observa-se que a maioria das produções se concentra na Europa e na Ásia. Os países destacados possuem um histórico robusto de investigações relacionadas a esse tema, indicando que a produção acadêmica, especialmente na Europa, é berço de teorias fundamentais, como a teoria do restauro, o que pode explicar a forte presença de estudos relacionados ao BIM aplicado a patrimônio nesses países. Neste cenário, a Itália, em particular, destaca-se por sua elevada concentração de produção (Figura 8) associada a tecnologias digitais aplicadas ao patrimônio cultural.

Figura 7 - Locais onde foram produzidos os artigos considerados nesta revisão



Fonte: Autora, 2024 | Software Scimago Graphica

Figura 8 - Quantidades de publicação dos autores por países

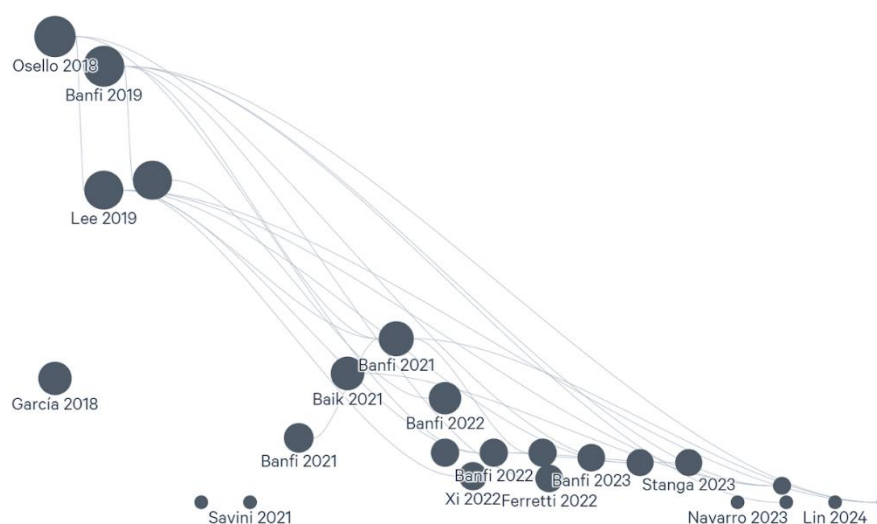


Fonte: Autora, 2024 | Software Scimago Graphica

O mapa da figura 9, foi construído para visualizar as conexões entre diferentes autores em uma revisão bibliográfica sistemática, destacando como os estudos se relacionam através de citações e referências.

Figura 9 - Gráfico de quantidade de citações x data

 Litmaps



Fonte: Autora, 2024 | *Software Litmaps*

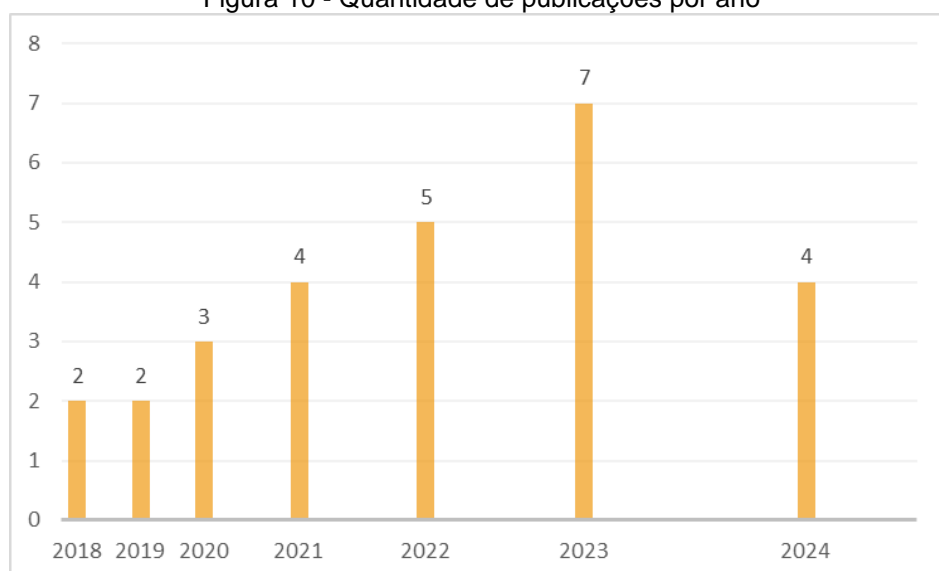
Cada círculo no gráfico representa um trabalho de um autor específico, identificado pelo sobrenome e ano de publicação, como “Banfi 2019” ou “Lee 2019”. O tamanho dos círculos varia de acordo com o número de vezes que esse trabalho foi citado por outros estudos, ou seja, quanto maior o círculo, mais influente o estudo é dentro da rede de citações. As linhas que conectam os círculos indicam relações de citação entre os trabalhos. Isso significa que um autor referenciou ou foi referenciado por outro, revelando como os estudos influenciam uns aos outros ao longo do tempo. No eixo horizontal, os círculos são dispostos de acordo com o ano de publicação, com os trabalhos mais antigos posicionados à esquerda e os mais recentes à direita. Por exemplo, “García 2018” está à esquerda, enquanto “Lin 2024” aparece à direita. Essa distribuição temporal permite observar como o campo de pesquisa evoluiu, mostrando a sequência de influências acadêmicas ao longo dos anos.

Esse tipo de análise torna possível entender melhor como a literatura científica em determinado tema está estruturada e quais autores são mais influentes na construção do conhecimento. Por exemplo, Banfi, Stanga e Brumana frequentemente publicam juntos e aparecem várias vezes no mapa (como autores e coautores) e com

círculos de tamanhos consideráveis e com recorrência em diferentes anos, o que mostra que este é um grupo de pesquisa central, com um corpo de trabalho continuamente relevante ao longo do tempo. Outros autores que se destacam são Lee *et al.* (2019), com um círculo grande que sinaliza um alto número de citações, indicando sua importância na rede de estudos, possivelmente pelo fato de o foco de seu estudo ser a aplicação de um sistema de gerenciamento de risco para o patrimônio arquitetônico, utilizando HBIM e RV, como foco em como esses sistemas podem melhorar a gestão e a conservação de edifícios históricos. Osello *et al.* (2018) também aparecem com destaque, e por coincidência esse trabalho também aborda a gestão de bens patrimoniais, mais especificamente da etapa de operação e manutenção em edificações históricas, abordando ainda como o HBIM associado às realidades digitais de imersão pode ser útil neste processo.

Por fim, em última análise, buscou-se entender a partir de quando as produções consideradas neste levantamento passaram a ser produzidas (Figura 10), com ênfase para o ano de 2018, início dos trabalhos, com destaque para Osello *et al.* (2018), com um estudo de caso e García *et al.* (2018) com uma revisão sistemática. Observa-se uma crescente de produções ao longo dos anos a respeito do assunto. Apesar de 2024 ainda não ter superado 2023, faz-se necessário considerar o tempo de publicação e difusão das pesquisas. Entretanto, vale chamar atenção para Tini *et al.* (2024), Lin *et al.* (2024), Bressan *et al.* (2024) e Rafeiro *et al.* (2024), que já tiveram publicações relevantes neste último ano.

Figura 10 - Quantidade de publicações por ano



Fonte: Autora, 2024 | Software Excel

## 2.4 Questões conceituais

Antes de adentrar à síntese do trabalho, faz-se necessário esclarecer alguns aspectos conceituais que estão presentes nesta pesquisa. Silva *et al.* (2017) aponta que a ausência de rigor em relação à padronização dos termos empregados pela bibliografia brasileira que estuda a disputa tecnológica acaba por gerar dificuldades aos pesquisadores que se debruçam sobre o tema. Entendendo que “o rigor terminológico na análise técnico-científica é imprescindível para haver entendimento integral do objeto de estudo” (Silva *et al.*, 2017, p. 17), este tópico visa discutir algumas terminologias, a fim de garantir clareza e consistência no uso das mesmas ao longo do trabalho.

Dado o contexto tecnológico em que a pesquisa se insere, é comum que termos originalmente usados no ‘mercado’, por assim dizer, se misturem com expressões acadêmicas e técnicas. Essa sobreposição pode gerar ambiguidade e comprometer a precisão dos conceitos utilizados, além de dar margem a interpretações divergentes ou imprecisas, o que pode afetar o rigor da pesquisa acadêmica. Portanto, a seguir, serão abordadas algumas questões conceituais, com o objetivo de esclarecer e delimitar o uso de determinados termos ao longo deste estudo. Não é minha intenção dizer qual é a ‘verdadeira’ definição de algum conceito, mas esclarecer o que está sendo considerado como entendimento por mim no decorrer da pesquisa.

### a. Patrimônio digital e patrimônio virtual

No campo da pesquisa sobre a interação com o patrimônio mediada por tecnologias, é comum encontrarmos variações na terminologia, especialmente entre os termos ‘patrimônio virtual’ e ‘patrimônio digital’. Ao longo desta revisão, será possível observar o uso de ambos, conforme a escolha terminológica de cada autor estudado. Ainda assim, com o intuito de explicitar a compreensão adotada pela autora nesta dissertação, apresenta-se a seguir uma breve explanação conceitual sobre os termos.

Conforme elucidado por Pierre Lévy, o termo ‘virtual’ deriva do latim *virtualis*, que remete à ideia de ‘potência’ e ‘força’. Em sua conceituação, Lévy (2011, p. 105) esclarece que “o virtual é o que existe em potência e não em ato. Uma semente é virtualmente uma árvore; ela possui o potencial de se tornar uma árvore, mas ainda não é uma árvore em ato”. Assim, o virtual não se contrapõe ao real, mas sim ao atualizado, ao concretizado em um dado momento.

No contexto computacional, para Lévy (2011) virtualização é o processo de transformar algo 'em ato' (atual, concreto) para 'em potência' (virtual, latente). Nesse sentido, a virtualização contemporânea implica a passagem 'do físico ao digital', sendo que o digital é, em essência, o meio, o suporte técnico, a infraestrutura onde a virtualização se manifesta, se organiza e se atualiza.

O autor exemplifica isso a partir da ideia de texto e hipertexto: Um livro físico, impresso em papel, é um objeto atual, com uma sequência de leitura linear e previamente definida. Ao ser digitalizado e convertido em hipertexto, esse conteúdo assume uma dimensão virtual e o hipertexto passa a constituir uma 'matriz de texto potencial', que existe em ambiente digital. A tecnologia digital, nesse caso compreendida como o conjunto de softwares, códigos e interfaces, funciona como o suporte que torna possível a navegação não linear do texto, por meio de links e interações promovidas pelo leitor. Cada leitura realizada no hipertexto representa uma das múltiplas atualizações possíveis de sua virtualidade. O digital se apresenta, então, como o terreno onde a plasticidade do virtual se concretiza.

Nesta revisão sistemática de literatura, os usos de tais conceitos estão atrelados, em geral, à interpretação dos próprios autores destes estudos em relação a qual nomenclatura utilizar. Para a autora, entretanto, entende-se 'patrimônio digital' como o conjunto de dados, registros e representações digitais de bens culturais, criados ou convertidos para o ambiente digital, incluindo imagens, modelos 3D, vídeos, documentos digitalizados, bancos de dados e demais arquivos digitais utilizados na documentação, difusão e preservação do patrimônio; e 'patrimônio virtual' como as experiências, interações e atualizações possíveis desses dados digitais em ambientes mediados por tecnologia, como visitas virtuais, simulações interativas e outros modos de atualização da informação digital enquanto experiência sensível e navegável.

Em geral, ao longo da dissertação, será mais comum o uso e a discussão do termo patrimônio digital, uma vez que os objetivos aqui propostos se concentram prioritariamente nos processos de produção, organização e circulação das representações digitais de bens culturais e menos nas reflexões sobre a interação entre usuário e patrimônio em ambientes digitais.

#### b. Tecnologias imersivas

Dando continuidade à discussão conceitual dos termos utilizados nesta dissertação, destaca-se outro conceito que merece atenção: o de 'tecnologias imersivas', frequentemente mencionado nos trabalhos analisados nesta revisão sistemática. No entanto, para fins do desenvolvimento da presente pesquisa, torna-se necessário aprofundar essa noção, a fim de esclarecer os sentidos atribuídos a ela neste contexto.

A literatura especializada frequentemente caracteriza as experiências com RV e RA, coletivamente denominadas xRs, pelo seu caráter 'imersivo', o que, por sua vez, leva à suposição comum de que tais experiências são 'ilusórias', ou seja, que colocam o usuário em uma espécie de realidade simulada ou fictícia, desligada do 'mundo real'. Rolla *et al.* (2022) criticam essa premissa, argumentando que o conceito de 'imersão' na literatura técnica é polissêmico e vago, sendo frequentemente confundido com noções como 'presença', 'envolvimento' e 'engajamento'. Se pensarmos dessa forma, pode-se observar que praticamente todas as tecnologias existentes podem ser consideradas, a despeito de como e por quem são utilizadas, como imersivas, o que gera complexidade na definição e pode resultar em um termo 'vazio de sentido'.

Explico: segundo esta lógica, por exemplo, dependendo do nível de envolvimento e interesse de uma pessoa pelo que assiste na televisão, esta pode ser considerada uma tecnologia 'imersiva' para ela naquele momento. O nível de engajamento desta pessoa com o objeto com o qual ela está interagindo poderá variar de acordo com inúmeros fatos, seja o interesse da pessoa, o humor dela naquele momento, o silêncio do ambiente, a qualidade da imagem na TV, entre outros. Isso desvincula a ideia de 'imersão' de características ligadas aos dispositivos tecnológicos e vincula excessivamente à experiência subjetiva do usuário.

Contrariamente a isso, Rolla *et al.* (2022) propõem o conceito de 'alusão', termo que descreve uma forma de engajamento volitivo (feito voluntariamente), onde o usuário 'age como se' a experiência digital fosse real, sem se confundir ou ser enganado (Rolla *et al.*, 2022, p. 95).

Apesar da crítica válida à polissemia do termo e da proposta alternativa de 'alusão' enquanto forma mais precisa de descrever o engajamento do usuário com as experiências digitais, será possível notar o uso continuado da expressão 'imersão' ao longo desta dissertação. Essa decisão não ignora as problemáticas conceituais envolvidas que, inclusive, são aqui discutidas e reconhecidas como relevantes, mas responde a uma necessidade estratégica de alinhamento com a terminologia mais

amplamente adotada nos estudos voltados à aplicação de tecnologias digitais no campo do patrimônio cultural. Ou seja, mais do que adotar uma definição ideal, opta-se por utilizar um vocabulário que esteja em consonância com a produção acadêmica da área específica em que esta pesquisa se insere.

c. Realidade Virtual (RV), Realidade Aumentada (RA), Realidade Mista (RM) e Realidade Estendida (xR)

i) Realidade Virtual

Durante esta revisão sistemática, foi possível observar autores como Baik (2021, p. 04, tradução da autora), apontar que a RV “cria um ambiente 3D completamente imaginário, que substitui a realidade e transporta o usuário para outro lugar”. Para o autor, a RV assume os principais sentidos (visão e audição) e ‘bloqueia’ o mundo real, ou seja, a RV, para ele, é um dispositivo de criação de um ambiente ‘totalmente imersivo’. Com base nas discussões anteriores, há uma problemática em entender estes dispositivos como ‘totalmente’ ou ‘completamente’ capazes de engajar o usuário a ponto de isolá-lo do ‘mundo real’, já que a percepção subjetiva varia conforme o usuário e o contexto de utilização da tecnologia.

Nesse sentido, tentando evitar a reprodução de uma conceituação indevida de RV neste artigo, considerar-se-á, para todos os fins, a definição de Jerald (2015), que a descreve como um ambiente digital gerado por computador, capaz de ser experienciado de maneira interativa, simulando o real.

ii) Realidade Aumentada

Para Baik (2021) a RA sobrepõe informações digitais ao ambiente real, ou seja, combina o mundo real com dados digitais, exibidos por uma tela transparente ou dispositivos menores, como *smartphones* ou *tablets*, inserindo objetos digitais e informações no que o usuário já está vendo, mas não ‘substituindo’ a realidade. Da mesma forma, Banfi (2021) concorda que a RA é apresentada como um meio para enriquecer a experiência do mundo real, sobrepondo conteúdo digital ao ambiente físico.

Entretanto, considerar que RA é apenas e tão somente um meio no qual informações são adicionadas ao mundo físico a partir de registros do mundo digital pode deixar esta definição bastante complexa, já que existem muitas maneiras

diferentes de adicionar, alterar ou modificar informações no mundo físico. Se por acaso considerarmos essa definição pelo seu valor nominal, praticamente qualquer coisa poderá ser considerada RA, por exemplo: sistemas de mapeamento GPS, QR Codes, aplicativos de *smartphones* que sobrepõem texto em uma cena, entre outros (Craig, 2013).

Nesse sentido, para fins do entendimento de RA nesta pesquisa, será adotada a definição de Craig (2013, p.36, tradução da autora), que define RA como “um meio no qual a informação digital é sobreposta ao mundo físico, que está em registro espacial e temporal com o mundo físico e que é interativo em tempo real”. Chamo atenção para a diferença entre esta definição e as demais aqui apresentadas: esta definição enfatiza que a RA não é apenas um enriquecimento da experiência do mundo real, mas sim uma interação dinâmica entre informações digitais e o ambiente físico. Assim como no caso da RV, a interação é posta como ponto central na definição, o que permite que não se confunda a RA com outras tecnologias que simplesmente sobrepõem informações ao ambiente.

### iii) Realidade Mista

Há uma confusão conceitual no que diz respeito à RM. Conforme Bressan *et al.* (2024, p. 21, tradução da autora), “é uma sobreposição de conteúdo sintético que está ancorado e interage com objetos do mundo real, em tempo real”. Em outras palavras, nas experiências de RM, os objetos digitais não apenas coexistem com os físicos, mas interagem com eles em tempo real. Entretanto, para Craig (2013), a RM representa um conceito que abrange tanto elementos do mundo físico quanto do digital, sem as mesmas restrições de registro espacial e temporal que caracterizam a RA. Ou seja, enquanto a RA se concentra na sobreposição de informações digitais que estão precisamente alinhadas e interativas com o ambiente físico, a RM permite uma integração mais flexível entre os dois mundos.

Percebe-se que as definições adotadas para RM variam conforme o autor e o contexto em que são aplicadas. Enquanto Bressan *et al.* (2024) destacam a necessidade de interação em tempo real entre os elementos digitais e os objetos físicos, Craig (2013) propõe uma abordagem mais ampla, onde a RM funciona como um espectro que contempla diferentes níveis de integração entre o físico e o digital. Além disso, há na RM uma problemática gerada também pela sobreposição de funcionalidades entre tecnologias. Dispositivos como o *Meta Quest* passaram a

integrar em suas versões mais atuais recursos que permitem mesclar elementos digitais com o ambiente físico, o que pode gerar uma confusão conceitual e comercial sobre sua categorização. Ainda que muitos desses dispositivos sejam amplamente divulgados e vendidos como voltados à RV, as funcionalidades que incorporam os aproximam de experiências que poderiam ser associadas à RM (Figura 11).

Figura 11 - Experiência de RM no jogo *First Encounters*, utilizando o dispositivo *Meta Quest 3*. Na imagem, é possível observar elementos digitais sobrepostos ao ambiente físico real.



Fonte: Kimberly Gedeon | Site Mashable SEA

Já o *Microsoft HoloLens* (Figura 12), tradicionalmente classificado como um dispositivo de RA, permite que objetos digitais sejam sobrepostos ao mundo físico e manipulados pelo usuário em tempo real. Embora sua principal função seja ampliar a percepção do ambiente real com informações digitais, o fato de ser utilizado na forma de *headset*, visualmente semelhante a dispositivos de RV, pode gerar ambiguidade em sua classificação.

Figura 12 - Uso do dispositivo Microsoft HoloLens em aplicação prática. A imagem mostra uma profissional utilizando o headset HoloLens enquanto realiza uma tarefa técnica em um equipamento físico.



Fonte: Microsoft

Essa interseção entre dispositivos tecnológicos e o que abrangem, levanta questões sobre qual categorização utilizar, já que as distinções entre RV, RA e RM tornam-se progressivamente menos claras à medida que os dispositivos evoluem e passam a incorporar múltiplas funcionalidades. A convergência tecnológica e a hibridização de recursos implicam, assim, em desafios conceituais e fazem com que essas terminologias estejam em constante disputa.

#### iv) Realidade Estendida (xR)

O conceito de xR é definido por Ferretti *et al.* (2022, p.1552, tradução da autora) como “o espectro de experiências que confundem a linha entre o mundo real e os ambientes virtuais”. Essa ideia, mais uma vez, pode ser problemática pois volta à problemática discutida sobre a ideia de ‘imersão total’, a ponto de o usuário confundir o ambiente digital com o ambiente físico, quando na verdade o estado de envolvimento depende também da predisposição do usuário.

Por outro lado, Bressan *et al.* (2024, p. 21, tradução da autora) define xR como “todos os ambientes reais e virtuais gerados por computação gráfica e *wearables*”, sendo o x em xR simplesmente uma variável que pode representar qualquer letra. Dessa forma, xR é a categoria abrangente que cobre todas as diversas formas de interação com o ambiente físico de forma alterada ou simulada por algum dispositivo digital, incluindo, RV, RA e RM.

## 2.5 Síntese dos estudos levantados na revisão bibliográfica sistemática

A presente síntese tem por finalidade apresentar, de forma objetiva, os principais resultados decorrentes da revisão sistemática realizada, com enfoque na aplicação de tecnologias digitais, notadamente o HBIM e as xR, no âmbito da preservação do patrimônio cultural. A análise dos estudos selecionados permitiu identificar conceitos recorrentes e tendências emergentes na área, bem como 'lacunas' investigativas, ou, oportunidades de aprofundamento em determinados assuntos. Ressalta-se que o escopo desta síntese não é exaurir os temas abordados, mas organizá-los e apresentá-los de maneira breve para fornecer um panorama simplificado do levantamento efetuado.

O levantamento, frequentemente visto como um processo meramente técnico, revela-se, na verdade, a primeira camada de interpretação do objeto. As discussões apresentadas a seguir, explicitam como os estudos levantados nesta revisão abordam as técnicas contemporâneas de coleta de dados. Para Navarro, (2023), as técnicas tradicionais de levantamento (uso de trenas, níveis, teodolitos e outros) destacam-se pelo baixo custo, pela capacidade de gerar conhecimento aprofundado do bem cultural e por seu papel indispensável na leitura direta da edificação, sendo essenciais para o planejamento e a proposição de soluções de campo. No entanto, apresentam limitações quanto à precisão e à acessibilidade de determinados elementos construtivos.

Em contrapartida, a autora complementa que as técnicas contemporâneas, embora exijam maior investimento financeiro e condições operacionais específicas, possibilitam a geração de modelos digitais precisos a partir de nuvens de pontos, favorecendo análises complexas e a integração com sistemas informacionais como o HBIM. Ressalta-se, contudo, que ambas as abordagens devem ser utilizadas de forma integrada e crítica, considerando-se que os dados obtidos digitalmente podem ser validados por medições diretas, e vice-versa, garantindo maior fidelidade, confiabilidade e efetividade na documentação e gestão do patrimônio edificado (Navarro, 2023).

O uso integrado de *laser scanner* terrestre, fotogrametria digital (terrestre e aérea com VANTs - veículos aéreos não tripulados) e as estações totais para levantamento topográfico é a abordagem contemporânea mais citada para a aquisição de dados geométricos precisos, resultando em nuvens de pontos e modelos

texturizados (Banfi, 2020; Banfi & Mandelli, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Banfi *et al.*, 2022; Clini *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2024; Ramos Sánchez *et al.*, 2022; Stanga *et al.*, 2023). Essas técnicas permitem capturar a complexa morfologia dos edifícios com alta densidade e acurácia (Clini *et al.*, 2023; Sánchez *et al.*, 2022). A escolha da metodologia de levantamento deve ser crítica, considerando objetivos, custos, tempo, acessibilidade e a escala do objeto, a integração de diferentes técnicas é frequentemente necessária para atingir os requisitos do projeto (Baik, 2021).

A partir da possibilidade de utilização dos dados levantados em um ambiente BIM de modelagem, surge o processo *Scan-to-BIM*, que consiste na transformação da nuvem de pontos e outros dados de levantamento em um modelo BIM ou HBIM (Banfi, 2020; Banfi & Mandelli, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Banfi *et al.*, 2022; Clini *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018; Xi e Cong, 2022). Esse processo requer a interpretação e modelagem manual para representar geometrias complexas e atribuir informações semânticas, o que deve ser feito, também, de forma crítica (Navarro, 2023), sendo possível, por exemplo, acrescentar informações como UEs ou materiais, superando as limitações das ferramentas de modelagem paramétrica automática em softwares comerciais (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022).

Nesse contexto, o HBIM é apresentado como um sistema que vai além da simples representação geométrica tridimensional, funcionando como um repositório abrangente de informações tangíveis e intangíveis ao longo do ciclo de vida da edificação histórica (Banfi, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Bressan *et al.*, 2024; Clini *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2019; Osello *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018; Xi e Cong, 2022). A natureza complexa e irregular das edificações históricas (Banfi, 2020; Banfi, 2021; Osello *et al.*, 2018) impõe desafios significativos à modelagem paramétrica em *softwares* BIM tradicionais, que foram originalmente desenvolvidos para novas construções com componentes padronizados (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2021; Osello *et al.*, 2018; García *et al.*, 2018).

A criação de bibliotecas de objetos paramétricos que representem fielmente as geometrias singulares do patrimônio é uma limitação reportada (Banfi, 2020; Osello *et al.*, 2018; Xi e Cong, 2022). Para superar isso, pesquisas exploram técnicas de modelagem avançada (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2021; Banfi *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018), o uso de NURBS (*Non-Uniform Rational B-Splines*) (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022) e modelagem algorítmica (Xi e Cong, 2022).

A capacidade de integrar e gerenciar informações semânticas (não geométricas), como materiais, técnicas construtivas, estado de conservação, patologias e histórico de intervenções, é destacada como um valor fundamental do HBIM para a gestão do conhecimento e o planejamento da conservação e restauração (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022; Clini *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2019; Lin *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018; Stanga *et al.*, 2023). Essa integração transforma o modelo em uma base de dados tridimensional, permitindo análises complexas e o apoio à tomada de decisão por equipes multidisciplinares (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022; Clini *et al.*, 2023; Lin *et al.*, 2024; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018). A dimensão temporal (4D) também pode ser integrada para modelar a evolução construtiva ou o histórico de intervenções (Bruno *et al.*, 2021; Clini *et al.*, 2023; García *et al.*, 2018).

Essa capacidade analítica, contudo, depende da consistência e da confiabilidade dos modelos gerados. Assim, torna-se necessário estabelecer parâmetros que permitam avaliar a qualidade tanto da representação geométrica quanto das informações associadas. Nesse sentido, diferentes níveis e graus foram propostos pelos autores dos estudos levantados para orientar o desenvolvimento e a validação dos modelos HBIM, considerando seus aspectos formais e informacionais.

Os principais parâmetros empregados para a avaliação da confiabilidade e da qualidade dos modelos tridimensionais HBIM são: o Nível de Detalhe (LOD - *Level of Detail*), o Nível de Informação (LOI - *Level of Information*), o Nível de Geometria (LOG - *Level Of Geometry*), os Graus de Geração (GOG - *Grades of Generation*) e os Graus de Acurácia (GOA - *Grades of Accuracy*), cada um com funções específicas que se complementam para fornecer uma compreensão inteira do modelo.

O LOD refere-se ao nível de desenvolvimento de um objeto BIM e inclui tanto sua representação gráfica quanto o nível de informação associado à família do objeto (Osello *et al.*, 2018; Ferretti *et al.*, 2022). Ele pode variar a complexidade de LOD 100 (modelagem mais conceitual) a LOD 500 (modelagem mais próxima de como construído). Em determinados contextos normativos, como no Reino Unido, o LOD 350 é adotado como um ponto intermediário estratégico: um “compromisso inicial” que permite o gerenciamento eficiente de projetos durante sua fase de desenvolvimento, com possibilidade de transição para níveis superiores conforme as exigências específicas do empreendimento (Banfi, 2021).

No entanto, a padronização de LODs enfrenta desafios significativos quando aplicada a edifícios existentes, especialmente ao patrimônio histórico (HBIM). Técnicas como o escaneamento a laser, embora eficazes na captura geométrica, não permitem a identificação automática de materiais, o que compromete a geração de modelos (H)BIM. Nessas situações, a confiabilidade do modelo não deve se basear exclusivamente no LOD, mas sim na qualidade e profundidade das informações incorporadas a cada elemento.

Em resposta a essas limitações, a norma italiana UNI 11337 propõe a subdivisão do LOD em dois componentes: o LOG e o LOI, estabelecendo sete níveis distintos: de A a E para o projeto arquitetônico e F e G para modelos 'as-built' (Ferretti *et al.*, 2022). Exemplos práticos dessa abordagem citados nos trabalhos aqui levantados incluem o modelo HBIM do Palazzo Ducale de Urbino (Ferretti *et al.*, 2022), desenvolvido em LOD F, e o do Palazzo Olivieri-Machirelli (Clini *et al.*, 2023), que contou com dois níveis diferenciados: LOD D para o Conservatório e LOD G para o Auditório Pedrotti.

Nesse sentido, O LOI refere-se ao nível de informação não geométrica associada a uma família de objetos em um modelo BIM, desempenhando um papel essencial no contexto do HBIM. Diferentemente do nível de detalhamento geométrico, o LOI concentra-se na qualidade, tipo e profundidade dos dados vinculados aos elementos modelados (Clini *et al.*, 2023; Bolognesi *et al.* 2023). No contexto do HBIM, o LOI abrange a quantidade e o tipo de informações não-geométricas associadas ao modelo ou aos seus componentes (Banfi, 2020; Clini *et al.*, 2023). A informação é mapeada e inserida em objetos BIM através de parâmetros personalizáveis, que podem incluir dados históricos, fases construtivas, características físicas e mecânicas dos materiais, estado de conservação, patologias, intervenções de restauração, entre outras (Ferretti *et al.*, 2022).

O LOG, complementarmente ao LOI, resultam no LOD. Pode-se definir como LOG a representação geométrica dos objetos dentro de um modelo HBIM. Ele descreve a profundidade e a precisão dos detalhes visuais e espaciais de um componente ou de toda a edificação no modelo digital. A determinação do LOG está intrinsecamente ligada à acurácia do levantamento geométrico e ao processo de modelagem subsequente (Clini *et al.*, 2023; Ferretti *et al.*, 2022).

Com foco no HBIM, Ferretti *et al.*, (2022) apresentam, também, o parâmetro LOK (*Level of Knowledge*), que ao invés de se focar apenas nos detalhes geométricos

ou na quantidade de informações vinculadas (como o LOD), enfatiza a geração de conhecimento que deve ser incorporada na réplica digital do patrimônio. No contexto do LOK, a modelagem HBIM não se limita a replicar a geometria e a inserir dados, mas aprofunda-se na compreensão do artefato, sua história, suas transformações e seu valor.

Além destes parâmetros existente, há também o conceito de GOGs que foi introduzido por Banfi (2017) e posteriormente aprofundado em diversos estudos (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Banfi *et al.*, 2022; Stanga *et al.*, 2023). Os GOG são parâmetros desenvolvidos para orientar a criação de modelos digitais precisos a partir de levantamentos 3D, como nuvens de pontos obtidas por escaneamento a laser ou fotogrametria. Eles surgem como resposta às limitações dos *softwares* BIM tradicionais, que não conseguem lidar adequadamente com as geometrias complexas e irregulares de edifícios históricos. (Banfi *et al.* 2022; Banfi 2020). O propósito primário dos GOGs é preencher a ‘lacuna de modelagem’ existente no processo *Scan-to-BIM* (ou *Scan-to-HBIM*), que é a conversão de nuvens de pontos em objetos BIM paramétricos (Banfi *et al.* 2022; Banfi *et al.* 2019; Banfi 2020).

Dentre os GOGs, os níveis 9 e 10 são particularmente importantes, como apontado por Banfi (2020), por permitirem a interpolação direta de nuvens de pontos através de algoritmos NURBS. As curvas e superfícies NURBS são ideais para representar formas complexas e livres, ao contrário das primitivas geométricas simples (extrusão, varredura, etc.) predominantes em *softwares* BIM convencionais. A implementação dos GOGs tem sido testada em fluxos de trabalho integrando softwares como Rhino, Grasshopper e Revit, permitindo maior controle sobre a geometria e mantendo a fidelidade do modelo mesmo em plataformas BIM comerciais.

Os GOGs são ligados ao GOA, que é um parâmetro utilizado em modelos HBIM para medir e comunicar a confiabilidade geométrica dos elementos modelados. Ele expressa o quanto a geometria digital representa com precisão a realidade física do edifício documentado, sendo fundamental em projetos de patrimônio, onde irregularidades e deformações são comuns. Ao contrário dos modelos para novas construções, que assumem formas ideais, o GOA permite registrar com exatidão as complexidades e imperfeições dos edifícios existentes, garantindo maior fidelidade ao modelo ‘*as-built*’ (Banfi *et al.* 2021; Banfi *et al.* 2022; Banfi 2020).

O GOA é calculado por meio de um sistema de verificação automática, que compara a geometria do modelo com a nuvem de pontos original (obtida por

escaneamento a laser ou fotogrametria). O sistema utiliza métricas como: Distância média e mediana entre pontos e superfície; Desvio padrão, que indica o grau de dispersão dos pontos em relação ao modelo; Contagem de pontos usados na análise. Valores baixos (1 a 5 mm de desvio padrão) indicam alta acurácia, refletindo uma correspondência fiel entre o modelo HBIM e o edifício real (Banfi *et al.* 2021; Banfi *et al.* 2022; Banfi 2020).

Uma vez assegurada a qualidade e a confiabilidade dos modelos por meio desses parâmetros, torna-se possível explorar seu potencial em aplicações voltadas à comunicação e à interação. Se o HBIM oferece uma estrutura robusta de dados, as tecnologias xR se apresentam como a ponte visual e interativa que materializa esse conhecimento, transformando estes dados brutos em experiências interativas, sendo mais didáticas e compreensíveis, já que oferece novas formas de visualização dos modelos digitais, expandindo as possibilidades de uso do HBIM e de outros modelos 3D (Banfi, 2021; Banfi *et al.*, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Bressan *et al.*, 2024; Bruno *et al.*, 2022; Lee *et al.*, 2019; Osello *et al.*, 2018; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018; Gharib e Aboushal, 2020; Stanga *et al.*, 2023; Rafeiro *et al.*, 2024).

A tradução de informações técnicas e complexas contidas nos modelos HBIM para formatos e linguagens acessíveis a não especialistas é um desafio para uma comunicação eficaz (Clini *et al.*, 2023; García *et al.*, 2018). Utilizando as xRs é possível a criação de experiências interativas que comunicam os valores do patrimônio de formas que podem ser mais envolventes do que outros métodos (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2021; Banfi *et al.*, 2019; Clini *et al.*, 2023; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018; Gharib e Aboushal, 2020; Stanga *et al.*, 2023; Rafeiro, 2024).

O acesso remoto e transposição de barreiras físicas é uma das potencialidades ligadas às tecnologias xR, já que elas permitem a realização de visitas virtuais em locais de difícil acesso, com ambientes sensíveis, ou que não são fisicamente visitáveis devido a questões de conservação ou segurança (Baik, 2020; Banfi, 2020; Sánchez *et al.*, 2022; García *et al.*, 2018). Essas tecnologias proporcionam uma experiência remota sem causar danos ou riscos aos sítios históricos (Baik, 2020).

O uso desses modelos também se expande para a promoção do turismo virtual, permitindo que as pessoas viajem para diferentes lugares, aprendam sobre culturas e até mesmo selecionem destinos antes da viagem física (Baik, 2020). Nesse sentido, a disseminação do conhecimento contribui com a democratização do acesso ao patrimônio. Banfi *et al.*, (2023) aponta que as xR, combinadas com *QR codes* e

plataformas *web*, podem auxiliar a democratizar o acesso a espaços virtuais e informações multimídia, tornando o patrimônio edificado e cultural acessível globalmente, superando as limitações locais e regionais.

Há, contudo, debates mais delicados em torno do uso das tecnologias xR na reconstrução virtual do patrimônio, sobretudo quando se trata de elementos em ruínas ou já desaparecidos. Nessas situações, surgem questões complexas relacionadas ao conceito de autenticidade (Navarro, 2023; Rafeiro, 2024). Embora as representações digitais busquem aderência ao rigor histórico, elas frequentemente demandam interpretações criativas para preencher lacunas deixadas pela ausência de evidências materiais (Rafeiro, 2024). Nesse contexto, surge a necessidade de equilibrar precisão científica e liberdade interpretativa, sem comprometer a integridade da narrativa. Diretrizes internacionais, como a Carta de Londres e os Princípios de Sevilha, são frequentemente evocadas como tentativas de orientar essas práticas; no entanto, as definições de autenticidade e validade científica propostas por tais documentos ainda estão sujeitas a múltiplas leituras, variando conforme os contextos culturais e epistemológicos (Rafeiro, 2024).

A essas discussões soma-se a necessidade de promover uma transparência narrativa nos processos de modelagem digital, visando garantir a confiabilidade das representações e a responsabilidade intelectual envolvida na pesquisa (Rafeiro, 2024). Isso implica documentar, de maneira clara e acessível, as fontes utilizadas, as hipóteses formuladas, as decisões tomadas no processo de modelagem, bem como os níveis de precisão e as incertezas presentes nas reconstruções (Rafeiro, 2024). Dentro desse cenário, a narrativa assume um papel central. Mais do que simples recurso didático, ela é compreendida como uma ferramenta poderosa para comunicar não apenas os valores históricos, mas também os dilemas, escolhas e interpretações embutidas nas representações digitais (Clini *et al.*, 2023; Rafeiro, 2024). A forma como essas histórias são contadas influencia diretamente a forma como o público percebe e se envolve com o patrimônio. Assim, a criação de narrativas que articulem o passado com o presente, o físico com o digital, e que tornem visíveis as múltiplas camadas temporais e os graus de incerteza, contribui para uma experiência mais crítica, reflexiva e significativa (Rafeiro, 2024).

Outro potencial do HBIM associado às xR que foi apontado nos estudos analisados nesta revisão é o uso educacional e formativo. Tais tecnologias têm ganhado destaque como ferramentas eficazes no campo da educação e do

treinamento, com aplicações na indústria AEC, na área do patrimônio cultural e na área de segurança do trabalho (Bressan *et al.*, 2024; Bruno *et al.*, 2022; Gharib e Aboushal, 2020; Rafeiro, 2024; Xi e Cong, 2022). A revisão conduzida por Bressan *et al.* (2024) identifica uma tendência quanto à distribuição das tecnologias ao longo das etapas do ciclo de vida da construção: enquanto a RV é mais comumente empregada nas fases de projeto, engenharia e capacitação, a RA e a RM são preferencialmente utilizadas durante a etapa de execução, principalmente para acesso a informações em campo e atividades de inspeção. Tal mapeamento evidencia não apenas o potencial das xR como ferramentas de apoio técnico e formativo, mas também a necessidade de maior sistematização sobre os critérios que orientam a escolha entre essas tecnologias em diferentes contextos de aplicação.

Além da adequação técnica a cada fase do processo construtivo, estudos têm enfatizado os benefícios cognitivos proporcionados por essas tecnologias. Banfi *et al.* (2021) apontam que ambientes interativos como as xR favorecem o senso de presença e ação, promovendo o aprendizado e o conhecimento. Para Rafeiro *et al.*, (2024), a interação em ambientes digitais pode levar a um aprendizado mais profundo, ativando a memória episódica e criando conexões espaciotemporais interativas entre objetos e espaços, permitindo que os usuários reexperienciem eventos passados e retenham informações de forma mais significativa. Baik (2020), complementarmente a isto, aponta que as aplicações de xRs podem simplificar procedimentos complexos e exibir *designs* de forma mais compreensível para clientes e outros profissionais. Além disso, estes dispositivos podem oferecer suporte ao ensino à distância, permitindo a interação direta com outros profissionais em sessões de aprendizado à distância em tempo real (Bressan *et al.*, 2024; Xi e Cong, 2022).

No campo da gestão e preservação do patrimônio, observa-se um crescente interesse na integração entre o HBIM e as tecnologias xR, sobretudo por seu potencial em consolidar um repositório dinâmico e interdisciplinar de dados. Tais tecnologias permitem não apenas o gerenciamento eficiente de informações históricas e técnicas, como também a documentação de intervenções realizadas e o planejamento de ações futuras, potencializando a rastreabilidade e a tomada de decisões baseadas em dados (Baik, 2020). Também permitem a visualização precisa de danos, processos de deterioração e comportamento estrutural, possibilitando inclusive a simulação de colapsos ou degressões ocorridas ao longo do tempo (Baik, 2020; Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022a; Banfi *et al.*, 2022b; Clini *et al.*, 2023; Sánchez *et al.*, 2022; Osello *et al.*,

2018). Essa capacidade de visualização temporal e preditiva revela-se especialmente útil para o planejamento preventivo e a atuação rápida em contextos de emergência, otimizando práticas de conservação e estratégias de mitigação (Osello et al., 2018). Isso contribui para uma gestão de riscos contextualizada, permitindo, por exemplo, o compartilhamento de dados enriquecidos entre gerentes e conservadores para monitorar e diagnosticar o patrimônio (Lee et al., 2018).

Nesse sentido, outra potencialidade a ser destacada é a colaboração multidisciplinar. O uso destas tecnologias pode facilitar o trabalho de equipes multidisciplinares, como arquitetos, engenheiros, restauradores e arqueólogos, promovendo o compartilhamento de informações e a compreensão holística do artefato (Banfi, 2020, Sánchez et al., 2022). A natureza complexa dos processos de documentação, estudo e conservação do patrimônio cultural demanda, cada vez mais, abordagens interdisciplinares, nas quais o cruzamento de saberes contribui para uma compreensão mais ampla e acurada dos artefatos históricos (Baik, 2021; Banfi, 2020; Banfi et al., 2019; Banfi et al., 2022; Bressan et al., 2024; Bruno et al., 2022; Clini et al., 2023; Lee et al., 2019; Sánchez et al., 2022; García et al., 2018; Stanga et al., 2023).

Um outro potencial notado nos estudos levantados a respeito da integração do HBIM com as xRs foi o uso de *Digital Twin* (DT), ou gêmeo digital. Tal conceito consiste em uma réplica virtual de um ativo físico que é continuamente atualizada por dados oriundos do mundo físico (real), geralmente por meio de sensores (Bruno et al., 2022; Clini et al., 2023; Lee et al., 2019; Stanga et al., 2023). No campo do patrimônio cultural, o uso de DTs ainda se encontra em estágios iniciais, mas tem sido apontado como um desdobramento evolutivo dos modelos HBIM. A integração entre HBIM e sensores conectados via Internet das Coisas (IoT) possibilita o monitoramento em tempo real de parâmetros como temperatura, umidade e deformações estruturais (Bruno et al., 2022; Lee et al., 2019). Esses dados alimentam o DT e permitem a realização de simulações preditivas, a antecipação de falhas e o planejamento de ações de manutenção preventiva (Bruno et al., 2022; Lee et al., 2019).

Ao se apoiar em uma base informativa consolidada, o DT apresenta potencial para otimizar a gestão do ciclo de vida de bens edificados, abrangendo desde o diagnóstico do estado de conservação até o planejamento e execução de intervenções, bem como a incorporação de estratégias voltadas à sustentabilidade (Bruno et al., 2022; Clini et al., 2023). Nesse sentido, o DT amplia o escopo de

aplicação dos modelos digitais, superando sua utilização restrita às fases de documentação ou projeto e consolidando-se como uma ferramenta ativa na operação e manutenção de longo prazo (Bruno *et al.*, 2022; Clini *et al.*, 2023; Osello *et al.*, 2018).

Vê-se, portanto, que a gestão patrimonial pode ser significativamente beneficiada pela integração entre HBIM, tecnologias xR e abordagens como o Digital Twin. Ao centralizar dados históricos, técnicos e operacionais em ambientes digitais integrados, essas tecnologias favorecem uma visão sistêmica e dinâmica do patrimônio, oferecendo suporte não apenas às ações de conservação e restauração, mas também ao planejamento estratégico e à tomada de decisões ao longo de todo o ciclo de vida dos edifícios e sítios históricos.

Na condução da presente revisão sistemática identificou-se também uma potencialidade a respeito do uso da arqueologia da arquitetura como base metodológica para o desenvolvimento de novas abordagens de modelagem digital aplicadas ao patrimônio construído. Diversos autores (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022; Lin *et al.*, 2024; Stanga *et al.*, 2023) exploram essa interface, que para além da representação geométrica, incorporam uma compreensão estratigráfica e temporal dos artefatos arquitetônicos.

As UEs constituem um conceito central apontado nos estudos, principalmente na relação entre a arqueologia da arquitetura e a modelagem digital do patrimônio em HBIM (Banfi *et al.*, 2022; Stanga *et al.*, 2023). Para Banfi *et al.* (2022), as UEs representam a decomposição do edifício em seus elementos constitutivos com base em suas fases construtivas e transformações ao longo do tempo. Uma UE também pode corresponder a uma ação construtiva única, como uma adição, subtração ou modificação, ocorrida em um momento histórico específico (Navarro, 2023; Stanga *et al.*, 2023, p. 332).

No ambiente HBIM, essas unidades são representadas tridimensionalmente, superando limitações das representações bidimensionais (Banfi *et al.*, 2022). Cada UE pode ser associada a informações semânticas, como materiais, técnicas construtivas, fases históricas, estado de conservação e relações estratigráficas (Banfi *et al.*, 2022; Stanga *et al.*, 2023). Essa estruturação é viabilizada pela criação de objetos HBIM granulares e pelo uso de parâmetros como GOG e GOA, que possibilitam a modelagem de elementos complexos com precisão (Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2019).

A representação das UEs em HBIM permite análises diacrônicas, relacionadas à evolução histórica da edificação, e sincrônicas, voltadas ao estado do edifício em

determinado momento (Banfi *et al*, 2022). Além disso, a função de subtração virtual, análoga à escavação arqueológica, possibilita simular a remoção de camadas e visualizar configurações pretéritas do bem edificado sem intervenção física (Banfi *et al*, 2022). A integração das UEs em plataformas xR, amplia o alcance da comunicação patrimonial. Essa associação facilita a mediação de conteúdos técnicos e históricos para públicos não especializados, promovendo a fruição e compreensão dos valores tangíveis e intangíveis dos bens culturais (Banfi, 2020; Lin *et al.*, 2024).

Observa-se que a interlocução entre arqueologia da arquitetura, modelagem HBIM e tecnologias xR configura um campo metodológico com potencial relevante para a investigação em patrimônio edificado. A partir do contato com essa temática durante a revisão bibliográfica sistemática, definiu-se que o desenvolvimento da dissertação será orientado por esse eixo.

## **2.6 A revisão como ponto de partida para a discussão**

A presente revisão bibliográfica sistemática, fundamentada na análise de 27 artigos revisados por pares e estruturada conforme o protocolo PRISMA e as diretrizes metodológicas de Petticrew e Roberts (2006), oferece uma síntese do estado atual da integração entre HBIM e tecnologias de xR no campo da salvaguarda do patrimônio cultural. A avaliação dos trabalhos selecionados concentrou-se na incidência de palavras-chave, autores, redes de citação e localização geográfica da produção científica, revelando a predominância de estudos europeus e asiáticos, com destaque para Itália, Espanha e China, o que indica a necessidade de ampliar o escopo das pesquisas para outras realidades socioculturais, especialmente na América Latina. Foram também identificados autores e grupos de pesquisa centrais, bem como as principais tendências e interseções conceituais.

Antes de iniciar a sistematização dos estudos levantados, realizou-se uma retomada de conceitos-chave que atravessam esta pesquisa, com o intuito de garantir maior clareza terminológica e coerência no uso dos termos ao longo do trabalho. Considerando que os debates sobre patrimônio digital e tecnologias xR envolvem terminologias oriundas tanto do campo técnico-científico quanto do vocabulário comercial e midiático, tornou-se necessário delimitar as compreensões adotadas nesta revisão. A partir dessa discussão, buscou-se não estabelecer definições universalizantes, mas esclarecer as interpretações operacionais utilizadas pela autora, especialmente diante da polissemia observada na literatura.

Feito isso, uma breve discussão com os principais pontos levantados nos estudos foi iniciada. Passando pelas técnicas de levantamento, a modelagem (H)BIM, os parâmetros existentes e desenvolvidos de análise de modelos HBIM até chegar no uso das xR associada a isto. O ponto de discussão da intersecção entre HBIM e xR foi dividido em quatro principais pontos: o uso com fins em disseminação e promoção cultural, o uso educacional e formativo, o uso aplicado a gestão e preservação do patrimônio e o uso para interpretação e reconstrução arqueológica. Dentre estas discussões, a última que relaciona arqueologia da arquitetura com a modelagem HBIM e a aplicação xR foi escolhida como ponto de aprofundamento a ser desenvolvido durante esta dissertação.

Além disso, também foram levantados os principais desafios apontados pelos pesquisadores nesta revisão sistemática, sendo que persistem obstáculos práticos significativos, incluindo altos custos de implementação, escassez de profissionais qualificados e limitações de interoperabilidade entre plataformas, que demandam estratégias integradas de superação.

Essa revisão cumpre, assim, um papel metodológico central no escopo da pesquisa, situando-se na etapa de conscientização do ciclo de DSR, conforme delineado por Simon (1996) e Lacerda *et al.* (2013). Ao identificar lacunas conceituais e operacionais recorrentes nos estudos analisados, foi possível formular classes de problemas específicas, como a potencialidade de modelagens que representem relações estratigráficas, a problemática relacionada a rigidez dos modelos HBIM convencionais e o contato com estudos de caso desenvolvidos que possibilitaram o maior entendimento do funcionamento desta metodologia de desenvolvimento e que, também, serviram como base para a aplicação prática desenvolvida na dissertação.

Saliento que, visando não ser repetitiva nas informações, o aprofundamento em relação ao tema a ser trabalhado na dissertação não foi realizado neste capítulo de revisão. Optou-se por apresentar aqui, uma visão panorâmica dos diferentes caminhos identificados na literatura, enfatizando tanto a diversidade de abordagens quanto o percurso metodológico que conduziu à delimitação do objeto de estudo. Dessa forma, a revisão bibliográfica sistemática não apenas contextualiza o campo investigado, mas também estabelece as bases teóricas e operacionais que sustentam as próximas etapas desta dissertação, em especial a proposição e aplicação prática da metodologia adotada.

### 3 ARQUEOLOGIA DA ARQUITETURA E HBIM

#### 3.1 A arqueologia da arquitetura

Mesmo sob a lógica normativa da conservação, que busca prolongar a existência do patrimônio cultural, o tempo impõe sua presença. Edifícios históricos resistem, mas não sem marcas: trincas se abrem, rebocos se descolam, madeiras apodrecem. Para lidar com essas transformações, intervenções são necessárias, seja por meio de manutenções, acréscimos ou até remoções. Assim, o que se conhecia originalmente se modifica para que continue sendo compreendido e preservado. No entanto, essas modificações não são neutras, podendo às vezes afetar a *autenticidade*<sup>6</sup> do bem e impactar na forma como o objeto é percebido. Por esse motivo, na salvaguarda patrimonial, são imprescindíveis o reconhecimento e a documentação sistemática das transformações ocorridas, a fim de assegurar a precisão das narrativas sobre a trajetória das edificações e conferir maior rigor técnico na salvaguarda patrimonial e nas intervenções a se realizarem.

Nesse sentido, a teoria da restauração contemporânea afirma que o reconhecimento da matéria e da história dos objetos com valor patrimonial é um preceito fundamental e anterior a qualquer projeto de intervenção. De acordo com Gomide *et al.* (2005), no Manual de Elaboração de Projetos de Preservação do Patrimônio Cultural - Monumenta / IPHAN, as etapas de um projeto de intervenção em patrimônio edificado se dividem em três, sendo elas identificação e conhecimento do bem, diagnóstico e a proposta de intervenção. A primeira destas etapas tem o objetivo de conhecer e analisar a edificação sob os aspectos históricos, estéticos, artísticos, formais, técnicos e compreender o seu significado atual e ao longo do tempo, conhecer a sua evolução e os valores pelos quais foi reconhecida como patrimônio cultural. Esse processo precede a intervenção e permite que as novas operações levem em conta todo esse conhecimento acumulado.

É nesse contexto que a arqueologia da arquitetura (ou arqueologia da construção) se apresenta como abordagem viável. Segundo Najjar & Duarte (2002), no Manual de Arqueologia Histórica em Projetos de Restauração – Monumenta / IPHAN, a Arqueologia configura-se como uma disciplina dedicada ao estudo das

---

<sup>6</sup> Segundo Kühn (2010, p. 306), autenticidade pode ser entendida como o “respeito pela configuração da obra e pela sua materialidade, como transformadas ao longo do tempo”. Jokilehto (1996, p. 71) define-a como “uma medida da integralidade da verdade acerca da unidade interna inerente ao processo criativo e à realização física da obra, e os efeitos de sua passagem através do tempo”.

sociedades pretéritas em suas diversas dimensões, tendo como fundamento a análise de sua cultura material, isto é, dos vestígios materiais por elas deixados. **Todo e qualquer bem produzido pelo ser humano é suscetível de investigação sob a perspectiva arqueológica**, abrangendo desde fragmentos de objetos até edificações com valor patrimonial (Najjar & Duarte, 2002, p.11). O último caso (edificações) é abarcado pela Arqueologia da Arquitetura, que é um campo que investiga a história construtiva, técnicas de construção, funções originais e modificações dos edifícios, especialmente quando há pouca ou nenhuma documentação (Schuller, 2002).

Em suma, pode-se afirmar que a arqueologia da arquitetura é um campo disciplinar que aplica princípios e métodos arqueológicos, como a análise estratigráfica, ao estudo de edifícios históricos, tratando-os como deposições de camadas que atestam transformações ao longo do tempo (Villela e Tirello, 2014). A premissa fundamental é que os edifícios históricos são o resultado do acúmulo de estratos, que são camadas ou porções resultantes de ações construtivas e destrutivas ao longo do tempo (Genovez, 2012; Villela e Tirello, 2014, Villela, 2015). A própria matéria do edifício é a fonte principal de informação sobre sua história e transformações (Tirello, 2007; Villela e Tirello, 2014). Entende-se, portanto, que estrato é tempo (Villela, 2015).

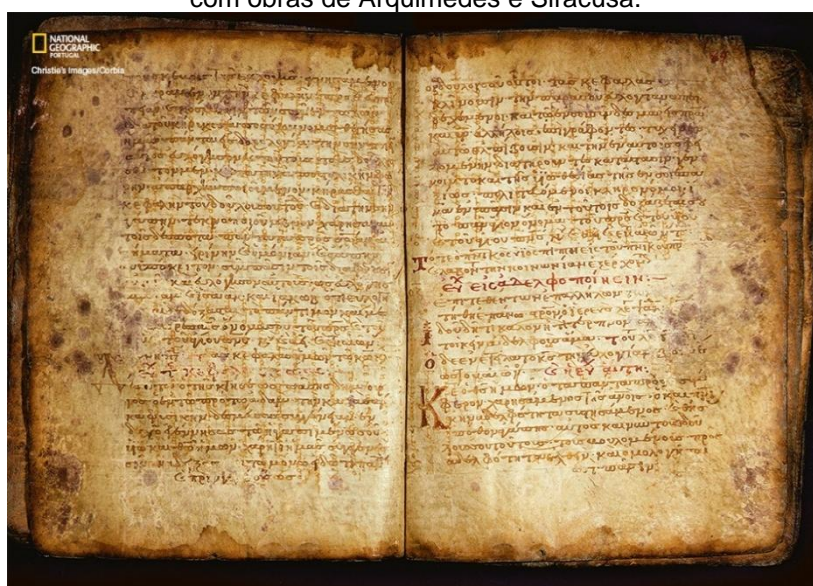
A arqueologia da arquitetura é um campo interdisciplinar que une arqueólogos, historiadores e arquitetos no estudo de edifícios com valor histórico patrimonial (Boato, 2010). Essa definição alinha-se com a recomendação da Carta de Veneza que diz: “A conservação e a restauração dos monumentos constituem uma disciplina que reclama a colaboração de todas as ciências e técnicas que possam contribuir para o estudo e a salvaguarda do patrimônio monumental.” (ICOMOS, 1994, art. 2º). Vemos, com isso, que a arqueologia da arquitetura como abordagem interdisciplinar faz com que diferentes profissionais atuem em prol de um mesmo fim, compartilhando de um mesmo método base: partir da *materialidade* como fonte principal e adotar uma perspectiva histórica para que o trabalho possa ser efetivamente reconhecido como um produto da arqueologia (Boato, 2010).

No Brasil, o Manual de Arqueologia Histórica em Projetos de Restauração estabelece que além de seu caráter pragmático, a arqueologia exerce função científica ao construir modelos explicativos da realidade social vinculada ao bem patrimonial (Najjar & Duarte, 2002, p.13). Além da potência interdisciplinar, percebemos que a arqueologia da arquitetura constitui um campo voltado à investigação da história

edificada a partir da própria matéria que a compõe (Villela, 2015, p. 34). Tendo a materialidade como fonte, os métodos arqueológicos no estudo da arquitetura, permitem o conhecimento das transformações físicas dos edifícios, e, permitem a reinterpretação de sua história sob a perspectiva arqueológica (Zoreda, 2009, p. 11). Assim, a arqueologia da arquitetura tem como objetivo, dentre outros, a recuperação e a socialização da história das edificações com valor patrimonial a partir da interpretação interdisciplinar da materialidade como fonte.

Essa abordagem, para além disso, prioriza a identificação e a interpretação das múltiplas camadas que compõem uma edificação. Falar em camadas no contexto da conservação e restauro, é entender que toda construção do passado resulta de um processo contínuo de adaptações, onde elementos preexistentes são reutilizados e transformados ao longo do tempo. Essa sobreposição faz com que diferentes períodos coexistam e dialoguem na mesma preexistência e evoca a ideia de *palimpsesto arquitetônico*, conceito originalmente associado a manuscritos antigos que guardam camadas de textos sobrepostos (Pesavento, 2004) (Figura 13), mas que pode ser uma metáfora utilizada para explicar a ideia da arquitetura como resultado de um processo contínuo de adaptações, marcado pelas sucessivas modificações que preservam, reinterpretam e ressignificam seu passado (Doglioni, 2008).

Figura 13 - Palimpsesto medieval em que, possivelmente monges ortodoxos do século XIII escreveram os seus textos litúrgicos sobre um conjunto de documentos que eram cópias do século X com obras de Arquimedes e Siracusa.



Fonte: National Geographic Portugal | Christie's Images / Corbia

Com base nessas considerações, observa-se que as camadas que compõem uma edificação histórica são diversas, mesmo que sejam analisadas sob a perspectiva da materialidade. Elas podem ser temporais, acumulando marcas das sucessivas intervenções ao longo do tempo; interpretativas, resultado da leitura interdisciplinar que envolve diferentes campos do conhecimento; técnico-construtivas, refletindo a coexistência de distintos métodos e materiais, nem sempre correspondentes a períodos históricos distintos; entre outras. A complexidade dessas *estratigrafias* materiais amplia as possibilidades de análise e a compreensão de um objeto de valor patrimonial. Nesse caso, o entendimento do bem como uma fonte de informações organizadas em *estratos*<sup>7</sup>, que traduzem a história social, cultural e material do patrimônio, faz-se fundamental para a formulação de estratégias de intervenção que assegurem sua salvaguarda.

Contudo, para que essa compreensão dos estratos materiais seja realmente profunda e eficaz na salvaguarda patrimonial, é preciso ir além de uma concepção meramente formal ou 'materializada' dos objetos. O antropólogo britânico Tim Ingold (2007), em sua crítica à 'materialidade', argumenta que a ênfase na 'materialidade dos objetos' muitas vezes obscurece a atenção devida aos 'materiais' em si, que são a **substância dinâmica e viva** da qual as coisas são feitas. Ele aponta que a dicotomia mente-matéria, que subjaz a muitas discussões sobre cultura material, tende a tratar a substância como um substrato inerte sobre o qual formas são impostas. No entanto, o mundo real, para Ingold, é um 'oceano de materiais' em constante fluxo, geração e transformação, onde as formas das coisas emergem e são dissolvidas. As propriedades dos materiais, nesse sentido, não são atributos fixos, mas sim **processuais e relacionais**, constituindo histórias condensadas de suas interações e transformações ao longo do tempo.

Essa perspectiva de Ingold é bastante relevante para as discussões vindas da arqueologia da arquitetura. Se, como disciplina, ela se debruça sobre a investigação da história edificada a partir da própria matéria que a compõe (Villela, 2015) e busca a 'materialidade como fonte principal' (Boato, 2010), **é fundamental que essa 'matéria' seja compreendida em sua dinamicidade e em suas múltiplas camadas**

---

<sup>7</sup> “Na Arqueologia da Arquitetura, as construções são entendidas como a sobreposição de sucessivas transformações, chamadas de estratos.” (Villela, 2015, p. 12)

**de existência, e não apenas como um objeto estático.** As trincas, os rebocos descolados e as madeiras apodrecidas que o tempo impõe aos edifícios históricos (fenômenos mencionados no início deste capítulo) são, sob essa ótica, manifestações das histórias e processos ativos dos materiais. Eles não são meras ‘marcas’, mas sim evidências da agência intrínseca dos materiais, que continuam a se misturar, reagir e, por vezes, 'desmaterializar' os objetos, como aponta Ingold (2007).

Já no campo do restauro científico, a noção de *estratos* como camadas de informação não é recente. Tanto o restauro filológico quanto o científico, fundamentados principalmente nas obras de Camillo Boito e Gustavo Giovannoni, entre o final do século XIX e o início do século XX, já preconizavam a preservação e a valorização dessas camadas, compreendidas como registros históricos materiais que não deveriam ser apagados em nome de uma suposta unidade estilística ou de um retorno idealizado ao estado original da obra (Kühl, 2010). A intervenção, nesses casos, deveria assumir o princípio da distinguibilidade, ou seja, para Boito, os acréscimos, quando necessários, deveriam ter caráter distinto, ainda que harmônico com o conjunto, utilizando materiais diferentes, formas simplificadas ou mesmo datas inscritas, para que não se confundissem com o original (Kühl, 2010). Giovannoni, por sua vez, retomou essas ideias e aprofundou seu sentido técnico, defendendo soluções integradoras com ‘neutros estilísticos’, sem personalidade decorativa (Kühl, 2010).

Aqui está enunciado o princípio da distinguibilidade da ação contemporânea: ou seja, **qualquer nova inserção deverá colocar-se como novo estrato, que não induza o observador ao engano de confundi-la com a obra como estratificada antes da intervenção**, não propondo o tempo como reversível e devendo documentar a si mesma. Isso já aparecia de forma explícita nas formulações de Boito, em que acréscimos e renovações, se necessários, deveriam ter caráter diverso do original, mas de modo a não destoar do conjunto; (Kühl, 2010, p. 312, grifo da autora).

Observa-se que Kuhl (2010) aponta que estes teóricos do restauro tratavam as novas inserções como novos estratos. Para Villela (2015, p. 56) os “estratos, em arquitetura, são resultados de ações construtivas e destrutivas conduzidas intencionalmente pela ação antrópica sobre as superfícies murarias.” Ou seja, é estrato, também, aquilo que foi subtraído e retirado do objeto de estudo. Esse conceito traz à tona um dos pontos mais importantes na discussão sobre boas práticas de intervenção e a arqueologia da arquitetura como método: a análise estratigráfica, que permite entender as transformações e a história de um edifício ao considerar suas diferentes camadas temporais e materiais.

### 3.2 A estratigrafia e o conceito de análise estratigráfica

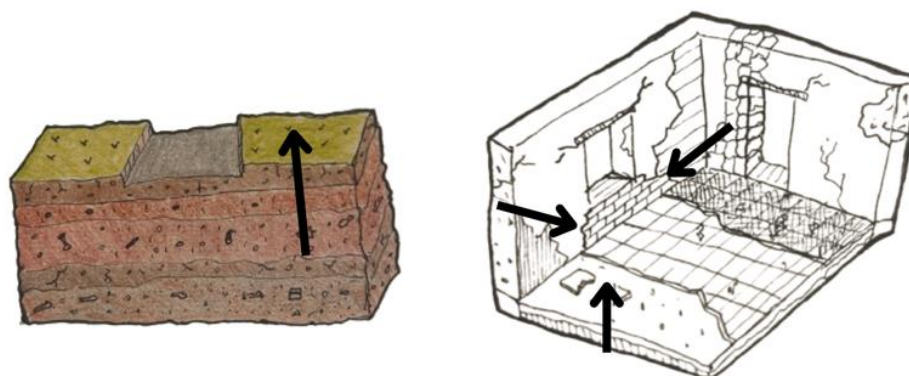
A definição de estratigrafia, conforme o dicionário *Michaelis*<sup>8</sup>, é “ramo da geologia que se ocupa do estudo das sequências dos estratos, ou camadas, de um corte geológico, procurando investigar as condições de sua formação, buscando correlações entre diferentes estratos [...]”. Apesar de ser comumente definida como um ramo da geologia, outras áreas do conhecimento, como a arqueologia, fazem uso desse conceito para compreender a disposição dos vestígios materiais ao longo do tempo. A principal distinção entre ambas as disciplinas reside no objeto de análise: enquanto a estratigrafia geológica se limita ao exame dos efeitos decorrentes de processos naturais, a estratigrafia arqueológica abrange, além desses, as intervenções antrópicas (Genovez, 2012; Villela e Tirello, 2014, Beltramo, 2009).

O mesmo princípio de transposição conceitual que levou a arqueologia a apropriar-se da estratigrafia geológica manifesta-se no campo da arquitetura, mais especificamente no âmbito da conservação e do restauro. Mas, ao ser absorvida pelo universo das edificações patrimoniais, a noção de estratigrafia não se limita a uma mera adaptação metodológica: ela se transforma, em relação à disposição dos estratos (Genovez, 2012; Villela, 2015): na arquitetura, os estratos se inscrevem em um regime tridimensional onde a lógica da sobreposição vertical das camadas dá lugar a uma complexidade espacial mais intrincada (Figura 14). Diferentemente dos depósitos arqueológicos, que tendem à disposição sequencial de baixo para cima, os estratos arquitetônicos não seguem uma ordenação unidirecional, mas se expandem em múltiplas direções, conformando um palimpsesto onde cada intervenção introduz novos níveis de leitura e interpretação (Genovez, 2012; Villela, 2015; Doglioni, 2008).

---

<sup>8</sup> MICHAELIS. Dicionário brasileiro da língua portuguesa. São Paulo: Melhoramentos. Disponível em: <https://michaelis.uol.com.br/palavra/OAVA/estratigrafia/> Acesso em: 9 jun. 2025.

Figura 14 - Comparação entre a disposição dos estratos na arqueologia e na arquitetura.



Fonte: Francovich *et al.* (1988), Parenti (1988), (re)interpretação da autora, 2025.

Dessa forma, na arqueologia da arquitetura, a estratigrafia pode ser conduzida de distintas maneiras, conforme a especificidade da análise. A estratigrafia horizontal refere-se ao exame das expansões laterais de uma edificação, permitindo compreender seu crescimento ao longo do tempo. A estratigrafia vertical, por sua vez, investiga modificações em altura, incluindo elevações, demolições e reconstruções de elementos estruturais. A estratigrafia de superfície dedica-se à identificação e análise das sucessivas camadas de revestimento, como rebocos e pinturas, revelando intervenções e transformações na materialidade do edifício. Por fim, a estratigrafia volumétrica abarca um estudo mais abrangente, considerando simultaneamente alterações horizontais e verticais dentro de um mesmo conjunto arquitetônico, possibilitando uma leitura integrada dos processos construtivos e de uso ao longo do tempo (Boato e Grottin, 1992).

No que diz respeito à abordagem metodológica, Genovez (2012, p. 34) aponta que na escavação arqueológica, a remoção de camadas é necessária para o estudo, o que pode causar a destruição dessas camadas. Em contraste, a estratigrafia arquitetônica é uma abordagem menos invasiva, que busca analisar as superfícies visíveis das construções e, quando necessário, utiliza apenas pequenas amostras para análise e estudo. Inicialmente, esse tipo de estudo era aplicado principalmente a edifícios sem revestimento, ou seja, com suas camadas expostas, mas com o avanço das técnicas<sup>9</sup>, a estratigrafia arquitetônica passou a ser também viável em edificações

<sup>9</sup> Técnicas advindas da arqueometria, que envolve o uso de métodos científicos físico-químicos, a fim de responder a questões específicas para o conhecimento dos objetos (Rizzutto, 2015). Por exemplo: Colorimetria, Espectrometria com Infravermelho, Fluorescência de Raios X, Radiografias Computadorizadas, entre outras.

revestidas, permitindo a análise de camadas que, a princípio, não seriam visíveis a olho nu.

Entendido o conceito de estratigrafia, faz-se importante abordar aquilo que se entende como análise estratigráfica:

A análise estratigráfica representa o estudo da estratificação, ou seja, o estudo das ações construtivas e destrutivas, que traduz a estratificação em uma sequência estratigráfica, isto é, em uma corrente ordenada de eventos. Permite o reconhecimento da história material da edificação, o que amplia o grau de informação, complementa as fontes escritas e iconográficas e diminui-se o risco iminente de danificar os estratos históricos, isto é, as suas temporalidades (Genovez, 2012, p. 19).

Por isso, a análise estratigráfica tem sido cada vez mais incorporada às análises preliminares da restauração, sendo uma ferramenta essencial no processo de restauração, considerada, "parte das formas de conhecimento sobre as quais se acredita que o projeto de restauração deve se basear e do qual deve levar em consideração, juntamente com o estudo e o diagnóstico dos fenômenos de degradação e instabilidade" (Doglioni, 2002, p. 113, tradução da autora).

A estratigrafia, então, se estabelece como método essencial para a leitura das sucessivas transformações que marcaram uma construção ao longo do tempo. Villela (2015) salienta que essas cronologias, no entanto, raramente se apresentam de maneira linear, pois as camadas edificadas não seguem exatamente a ordem em que foram dispostas. Nesse sentido, para a autora, interpretar o edifício exige um olhar que procure abarcar sua totalidade, identificando sobreposições que podem se manifestar de distintas formas:

Essas sobreposições podem ser de natureza formal, perimetral, estrutural, ornamental ou funcional. E desconhecidas porque em geral tais transformações não são documentadas por meio de projetos ou fotografias, não apenas por se tratarem, em sua maioria, de construções muito antigas, mas pela própria ocasionalidade com que iam acontecendo (Villela, 2015, p. 55).

É nesse ponto que a documentação patrimonial ganha relevância, uma vez que a falta de registros históricos detalhados pode dificultar a compreensão das transformações sofridas por uma edificação ao longo do tempo.

### **3.3 A documentação do patrimônio material, a arqueologia da arquitetura e as tecnologias digitais**

Diante dessas lacunas informacionais, tão comuns em edificações históricas, torna-se evidente a importância da documentação como prática estruturante no campo da preservação. De acordo com o Dicionário Iphan de Patrimônio Cultural, a definição de documentação é a seguinte:

[...] Em linhas gerais, o termo documentação pode ser compreendido como prática com e/ou sobre algum documento ou conjunto documental. Importa destacar a característica de evidenciar vários tipos de registros, garantindo a permanência da informação ao longo dos diferentes contextos históricos. **Muito além de agregar as múltiplas expressões do conhecimento humano, a documentação assume a função de representar ideias e objetos que nos informam sobre algo.** (Pereira Filho, 2015, n.p., grifo da autora).

Mais do que uma simples atividade de registro, ela se constitui como uma ferramenta essencial para garantir a continuidade do conhecimento sobre os bens culturais, servindo tanto à compreensão de suas transformações ao longo do tempo quanto ao embasamento técnico das intervenções. Para entender como essa prática foi sendo concebida e consolidada, é necessário retomar brevemente os debates históricos-conceituais que moldaram a noção de documento e sua centralidade na produção do saber sobre o passado.

O século XIX revelou-se um marco significativo para o tratamento dos documentos históricos, caracterizando-se pela adoção de perspectivas críticas sobre a documentação e pelo surgimento de novas tendências historiográficas que atribuíram grande importância às fontes documentais (Pereira Filho, 2015). Nesse contexto, Le Goff (1924) trabalha a conceituação de documento e propõe que a história é a forma científica da memória, à qual se aplicam dois tipos de materiais: o monumento e o documento. Segundo o autor, o monumento é compreendido como uma herança do passado, enquanto o documento resulta de uma escolha feita pelo historiador. Ele apresenta definições mais detalhadas para ambos:

O *monumentum* é um sinal do passado. Atendendo às suas origens filológicas, **o monumento é tudo aquilo que pode evocar o passado, perpetuar a recordação** [...] O monumento tem como características o ligar-se ao poder de perpetuação, voluntária ou involuntária, das sociedades históricas (é um legado à memória coletiva) e o reenviar a testemunhos que só numa parcela mínima são testemunhos escritos (Le Goff, 1924, p. 462, grifo da autora).

O documento que, para a escola histórica positivista do fim do século XIX e do início do século XX, **será fundamento do fato histórico, ainda que resulte da escolha, de uma decisão do historiador, parece apresentar-se por si mesmo como prova histórica.** A sua objetividade parece opor-se à intencionalidade do monumento. Além do mais, afirma-se essencialmente como um testemunho escrito (Le Goff, 1924, p. 462-463, grifo da autora).

O autor chama atenção para o fato de que com o predomínio da escola positivista, os documentos, até então escritos, passaram a ocupar posição central como fonte histórica, o que marcou uma mudança metodológica importante e levou à valorização do documento em detrimento do monumento (Le Goff, 1924). Após a ‘revolução documental’ a partir da década de 1960, ocorre a reconfiguração da hierarquia documental: o documento passa a ser compreendido não apenas como texto, mas também como som, imagem, ilustração e outros registros (Le Goff, 1924). Essa mudança é impulsionada tanto por uma renovação na perspectiva historiográfica, que valoriza múltiplos contextos e fontes, quanto pela revolução tecnológica proporcionada pelo uso do computador, que permitiu a análise de grandes conjuntos de dados numéricos. Tal cenário possibilitou o desenvolvimento da história quantitativa, na qual o documento é concebido em termos de séries e dados estruturados.

Diante desse panorama, ao refletir sobre a documentação oficial de bens patrimoniais, torna-se evidente que as dinâmicas de poder e as narrativas dominantes influenciam profundamente a seleção e a preservação dos elementos considerados dignos de tombamento e registro. Conforme delineado por Le Goff (1924), o documento, embora muitas vezes interpretado como evidência objetiva, constitui produto de uma escolha intencional que reflete as visões de mundo e os interesses das instituições e dos profissionais responsáveis por sua legitimação.

Neste contexto, um documento pode ser compreendido como ‘aquilo que ensina’ ou, mais precisamente, aquilo que pode ser utilizado para ensinar alguma coisa a alguém (Chagas, 1994). O ensinamento, entretanto, não emana e não está embutido no documento; ele está, brota e surge a partir da relação que se pode manter com o documento/testemunho. Por outro lado, o documento é compreendido como ‘suporte de informações’ que só podem ser preservadas e resgatadas através do questionamento (Chagas, 1994). Isto posto, tem-se que mais do que apenas acumular informações, a documentação tem a função de **representar ideias e objetos que nos ensinam algo sobre um bem cultural** (Martins, 2023).

Dessa forma, as coisas não nascem como documentos; elas se tornam bens culturais ou documentos no momento em que são lançadas sobre elas nosso olhar interrogativo, buscando entender suas características, função, contexto e história (Chagas, 1994). É preciso que um indivíduo ou coletividade o ‘diga’ e o valorize de modo diferenciado para que um bem cultural se constitua como tal Chagas (1994). A

documentação se torna, assim, um instrumento importante para a preservação da memória, resguardando a imagem histórica de um bem cultural mesmo que o objeto físico desapareça, permitindo, ainda que parcialmente, manter o contato com o que se foi:

Um dos instrumentos importantes para a preservação da memória é o seu registro iconográfico, quer pelos métodos milenares, quer pelos processos e instrumentos mais recentes que a ciência e a técnica do nosso tempo nos trouxeram. Neste caso, **desaparecido o objeto que testemunha o nosso passado, a sua imagem pode substituir, embora parcialmente, a necessidade imanente à natureza humana de manter contato com o que se foi.** Daí uma das várias utilidades das representações cadastrais como forma de preservação da memória (Oliveira, 2008, p. 13).

Nesse sentido, para Amorim (2011), o registro documental é um fator crucial para proteger o patrimônio arquitetônico do Brasil e auxiliar nos esforços de conservação e restauração. Entretanto, chamo atenção aqui para o que foi posto em relação à função didática de um documento para questionar sobre as ‘boas práticas’ de documentação que buscam ir além do simples registro dos fatos: A documentação deve ser entendida não como um fim em si mesma, mas como uma ferramenta ativa de interpretação, capaz de revelar camadas (ou estratos) de sentido que não se limitam à mera descrição formal ou técnica dos elementos arquitetônicos. Freitas (2012) destaca que a documentação de um edifício deve articular o reconhecimento histórico, a investigação científica e os registros documentais, de modo a ultrapassar uma abordagem meramente factual. Essa articulação possibilita relacionar as características físicas da construção com suas transformações ao longo do tempo e com os diferentes usos que ela pode assumir, ampliando, assim, as possibilidades de análise desses espaços.

Alinhado a isso, Oliveira (2008), aponta que registros documentais não somente estabelecem a base substantiva sobre a qual são concebidos planos de intervenção em edifícios pretéritos, mas também proporcionam uma análise minuciosa da evolução do complexo arquitetônico e suas alterações ao longo do tempo, facilitando a identificação e avaliação de deformações estáticas que possam ter afetado a integridade da estrutura edificada, possibilitando assim a aplicação de medidas corretivas em conformidade com os valores. Documentos como a Carta de Veneza (1964) e a Conferência de Nara (1994) traduzem a concepção de documentação em diretrizes operacionais, reforçando a necessidade de registros

sistemáticos, confiáveis e acessíveis como parte integrante dos processos de conservação, restauro e valorização do patrimônio.

A Carta de Veneza (ICOMOS, 1964, art. 16º), chama atenção para a documentação precisa e sistemática durante trabalhos de conservação, restauro e escavação, destacando a necessidade de critérios rigorosos em sua elaboração e recomendando o desenvolvimento de relatórios ilustrados com desenhos e fotografias. Além disso, o documento salienta que a documentação deve ser guardada em arquivos públicos e disponibilizada para pesquisadores, visando garantir o acesso e a democratização do material produzido. Sob a luz desses princípios, a Conferência de Nara discutiu a ideia de autenticidade do patrimônio cultural, reconhecendo o papel fundamental da documentação para o seu reconhecimento (UNESCO, 1994, art. 15º). O documento derivado deste encontro reforça que a autenticidade depende da confiabilidade das fontes e informações documentadas, as quais devem abranger aspectos como forma, materiais, uso, tradições, localização e significado, consolidando a documentação sistemática como base indispensável para a preservação e valorização do patrimônio cultural.

Em coerência com essa perspectiva, Freitas (2019), ao destacar a documentação arquitetônica como processo essencial para qualquer pesquisa associada a edificações com valor patrimonial, tanto no campo da história da arquitetura quanto na definição de critérios para intervenções físicas, traz o seguinte trecho do livro de Marco Dezzi Bardeschi (1998, p. 194, tradução da autora, grifo da autora):

[...] para um correto exercício da história da arquitetura, **o documento por excelência não pode ser senão o “monumento”**, isto é, o edifício, a manufatura do qual constitui aquele testemunho complexo de muitas culturas materiais, que então exprime a substância mesma do construído: esta identidade edifício-cultura, compreendida em sentido materialístico, como totalidade dos produtos humanos pode ser para muitos uma coisa óbvia, mas é completamente ignorada se consideramos os tantos perversos resultados que continuam a se verificar por um mal-entendido sentido da conservação do patrimônio arquitetônico.

Diferente de Le Goff (1924), que estabelece uma distinção clara entre monumento e documento, Bardeschi (1998) *apud* Freitas (2019), propõe uma superação dessa dicotomia ao considerar o próprio edifício como documento primário e insubstituível da história da arquitetura. Essa perspectiva se aproxima do campo da arqueologia da arquitetura, no qual o edifício é compreendido como um *palimpsesto*, carregado de camadas históricas que se sobrepõem e se entrelaçam, demandando

leitura cuidadosa e contextualizada para que se possam compreender suas transformações ao longo do tempo.

É aqui que métodos como a arqueologia da arquitetura se mostram potentes. Villela (2015, p.36, grifo da autora) destaca que esse método

oferece as bases para o conhecimento sobre a história da construção e a história da técnica, na tentativa de **suprir a escassa documentação existente sobre a evolução dos modos de construir**, principalmente ao se tratar de países como o Brasil cujas construções históricas remanescentes são, em maioria, de períodos recentes.

Vê-se, então, que a arqueologia da arquitetura, para além de sua contribuição na etapa de diagnóstico arquitetônico, tem a possibilidade, através das descobertas decorrentes da metodologia de investigação, de renovar a documentação existente, adicionando camadas que antes não estavam presentes. É nesse ponto, também, que a arqueologia da arquitetura se encontra com as tecnologias digitais utilizadas em levantamentos, como o escaneamento a *laser* 3D, a fotogrametria e a modelagem HBIM.

A importância dessa integração entre métodos tradicionais e tecnologias digitais já era reconhecida desde o final do século XX. Em 1989, na Declaração de São Paulo (ICOMOS, 1989), ao se discutir sobre documentação, chamou-se atenção para o uso de avanços tecnológicos para a documentação patrimonial. O documento reconhece o potencial de técnicas como sensoriamento remoto, aerofotogrametria e microscopia eletrônica e destaca a precisão tecnológica como essencial para a manutenção da autenticidade do patrimônio. Já em 2001, no *XVII Symposium Internacional CIPA* em Potsdam, na Alemanha, cujo tema era "Levantamento e documentação de edifícios históricos, monumentos e sítios – métodos tradicionais e modernos", foram discutidos, além dos métodos *high-tech*, a importância de métodos tradicionais, como a arqueologia da construção para o processo de documentação de edifícios com valor patrimonial (Schuller, 2002).

Posteriormente, em 2009, a Carta de Londres (Denard, 2009) reforça a importância da visualização computadorizada e da documentação digital do patrimônio cultural. O documento estabelece princípios como integridade intelectual, fidelidade, documentação, sustentabilidade e acesso, destacando a necessidade de documentar minuciosamente as fontes de investigação e garantir a sustentabilidade dos resultados digitais. Essas diretrizes se alinham à prática da arqueologia da arquitetura, que utiliza análises estratigráficas para interpretar camadas históricas e

contextos construtivos, cruzando dados materiais com fontes documentais. A Carta também enfatiza a influência de fatores ideológicos, históricos, sociais e estéticos na interpretação das fontes, aspecto crucial para a arqueologia, que entende os vestígios materiais como reflexos de práticas técnicas e contextos culturais específicos.

### **3.4 Uma outra perspectiva sobre documentação digital**

Em contraposição à visão que celebra a integração entre tecnologias digitais e métodos tradicionais de documentação como um avanço inequívoco na preservação patrimonial, há estudiosos que alertam para a necessidade de uma análise crítica dessa relação. Se a discussão até aqui enfatizou o potencial das tecnologias digitais para a precisão e a renovação da documentação existente, autores como Dodebei (2006, p.7) defendem que a “passagem acelerada do patrimônio para o território do ciberespaço fortalece a discussão sobre a qualidade, a quantidade e a diversidade das informações geradas por instituições de memória”. A autora defende que a cada transposição de uma mídia digital para outra, a imagem vai deixando de ser a representação do objeto concreto, e passa a ter existência própria. Então, ao invés de o foco estar no “bem durável”, ele se torna efêmero, passa a ser uma imagem digital, reformada e transformada do bem em questão (Dodebei, 2015, p.49).

A preocupação com a perda da conexão com a materialidade também é apontada na discussão proposta por Ocampo (1991) abordando bens tangíveis e intangíveis, e ressaltando a existência de manifestações culturais significativas que não se restringem a suportes materiais. Ocampo (1991, p.2) aponta que

existem documentos registrados nos mais diferentes suportes (o que dá origem ao conceito de bem cultural tangível), por outro lado existem também documentos que não se encontram registrados em suportes materiais e que nem por isso deixam de ser resultado de manifestações culturais significativas, tais como mitos de criação, lendas, superstições, músicas (bens culturais intangíveis).

Em coerência ao apontado por Ocampo (1991), autores como Souza e Crippa (2011) e Costa (2024), defendem a necessidade de superação da dicotomia entre patrimônio tangível e intangível, argumentando que essa separação é, em muitos casos, artificial e limitadora para a compreensão e a salvaguarda da riqueza cultural. Os teóricos que defendem essa perspectiva enfatizam que há uma interdependência entre as manifestações materiais e imateriais do patrimônio. Por esse motivo, dentre as principais problemáticas apontadas em relação ao uso de tecnologias digitais na salvaguarda patrimonial está a teoria de que ao utilizá-las, a dimensão experiencial e

dos vínculos subjetivos estabelecidos entre os indivíduos e o patrimônio, é enfraquecida, o que se torna um problema pois, segundo Tofani (2008, 2020), estes vínculos são aspectos cruciais para os processos de valorização e salvaguarda do patrimônio cultural.

Apesar disso, alguns trabalhos mostram os esforços no desenvolvimento de projetos que levam em consideração estes apontamentos, como por exemplo o projeto da tese de Magalhães (2019), que buscou ampliar a compreensão histórica, arquitetônica e social da Fazenda Boa Esperança, em Minas Gerais, com foco nos espaços de trabalho, nos ambientes comuns e na vida dos trabalhadores escravizados durante o período colonial (Figura 15). Por meio de pesquisas históricas, análises documentais e o uso de tecnologias digitais. O autor reconstruiu digitalmente os espaços e objetos da fazenda, incluindo aspectos do cotidiano e do maquinário produtivo, além de resgatar as narrativas dos indivíduos escravizados.

Segundo o autor, a ideia do trabalho não era apenas preencher lacunas historiográficas, mas também promover a educação patrimonial e o engajamento público, oferecendo uma nova camada de leitura que destaca a importância da Fazenda Boa Esperança como patrimônio cultural e sua relação com a história da escravidão no Brasil. Ele mesmo chama atenção para o fato de que “embora tecnologias de RV pareçam fascinantes, elas não são soluções definitivas para problemas existentes, mas sim uma nova maneira de interpretar e interagir com o mundo” (Magalhães, 2019, p.12), reforçando sempre que o trabalho não visou esgotar todas as lacunas historiográficas existentes, mas possibilitar a realização de estudos para sua interpretação por meio de modelos computacionais.

Figura 15 - 1) Cenas de trabalho diante do paiol; 2) Cena de trabalho no moinho de farinha;



Fonte: Magalhães (2019)

Outro exemplo notável do uso das tecnologias digitais como ferramenta de salvaguarda, sem descolá-las do sentido e da vivência cultural do patrimônio, ocorreu na aldeia *Ulupuwene*, do povo *Wauja*, no Território Indígena do Xingu, em Mato Grosso, mais especificamente na Gruta do *Kamukuwaká*. De acordo com uma entrevista realizada pela Rádio Novelo Apresenta<sup>10</sup>, a Gruta faz parte de uma narrativa ancestral sobre um líder *Kamukuwaká*, e segundo a crença *Wauja* é um local sagrado que carrega a memória ancestral do seu povo e sua cosmovisão. Por esse motivo, em 2010, a gruta e parte do *Sagihengu* (outro local sagrado) foram tombados como patrimônio material pelo Iphan. Ainda assim, em 2018, a gruta foi vandalizada, e suas gravuras milenares, que narram a história e a espiritualidade do povo *Wauja*, foram parcialmente destruídas.

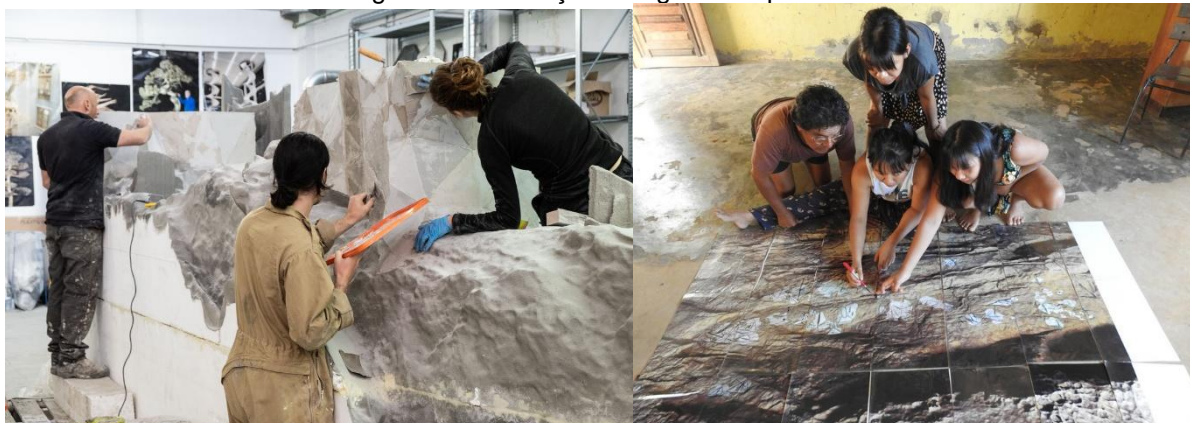
A partir daí surgiu uma demanda do próprio povo *Wauja* para que fosse feita uma réplica da gruta, criada com tecnologia 3D. A empresa *Factum Foundation* foi

---

<sup>10</sup> Episódio 117 da Rádio Novelo Apresenta: Uma história original. Disponível em: [https://radionovelo.com.br/wp-content/uploads/2025/02/RNA\\_ep117\\_transcricao.docx.pdf](https://radionovelo.com.br/wp-content/uploads/2025/02/RNA_ep117_transcricao.docx.pdf)

contratada para prestar o serviço e a réplica foi realizada, através de escaneamentos a laser, fotogrametria e modelagem 3D (Lowe *et al.*, 2019) (Figura 16). A réplica, chamada de *Opopalapitse* (réplica no idioma *Wauja*), não substitui a gruta original, mas fortalece a luta indígena e permite que as novas gerações se conectem com sua herança cultural.

Figura 16 - 1) Processo de criação da réplica em 3D. 2) Processo de participação dos povos indígenas na recriação das gravuras perdidas.



Fonte: *Peoples Palace Projects* (<https://peoplespalaceprojects.org.uk/pt/projects/kamukuwaka-recriando-a-gruta-sagrada-indigena/>)

Casos como os da Fazenda Boa Esperança (Magalhães, 2019) e da Gruta *Kamukuwaká* (Lowe *et al.*, 2019) evidenciam sensibilidade à complexidade das vivências culturais e ao papel das tecnologias digitais na mediação dessas experiências. Esses exemplos revelam que é possível construir práticas comprometidas com as múltiplas camadas de significação, materialidade e memória que constituem os bens culturais, deslocando o foco de uma representação meramente objetivada para abordagens que reconhecem a densidade histórica e a instabilidade própria dos vestígios. No campo da arqueologia da arquitetura, tais perspectivas ressoam diretamente, uma vez que este exige a análise atenta de camadas materiais, cronológicas e interpretativas, bem como a disposição para lidar com incertezas, lacunas e fases construtivas sobrepostas ou fragmentadas, dimensões que não se limitam à materialidade, mas que a atravessam e a extrapolam.

Neste cenário, é preciso reconhecer que o HBIM, embora seja uma solução tecnológica para a documentação e gestão do patrimônio edificado, frequentemente opera a partir de uma lógica normativa, centrada na modelagem formal e geométrica. Sua interface, longe de ser neutra, estrutura a leitura do patrimônio por meio de categorias e parâmetros previamente definidos, condicionando a forma como se registra, interpreta e transmite o bem cultural.

### 3.5 Arqueologia da arquitetura e criação de 'patrimônio digital'

Além de ser reconhecida por sua importância na documentação e proteção do patrimônio cultural, a arqueologia da construção também se ocupa da integração de diferentes métodos e técnicas de registro. Nesse contexto, observa-se a influência dos paradigmas teóricos da disciplina na discussão acerca da utilização de recursos tecnológicos digitais aplicados ao patrimônio histórico-cultural, os quais contribuem para o desenvolvimento de novas abordagens metodológicas e interpretativas fundamentadas nessa área de estudo.

A criação de modelo 3D baseado na realidade, ou seja, utilizando um objeto com valor histórico e patrimonial como referência espacial, torna possível garantir que as medidas e proporções da reconstrução digital sejam fiéis ao objeto existente, já que o modelo 'herda' a precisão geométrica do objeto real, mantendo a consistência com os dados arqueológicos (Demetrescu, 2015). Contudo, essa acurácia dimensional, embora fundamental, revela-se limitada para apreender a complexidade estratigráfica e construtiva que caracteriza tais edificações. Tal fato demanda uma abordagem metodológica que ultrapasse a mera representação geométrica. É nesse contexto que a arqueologia da construção, enquanto disciplina com expertise na análise das dinâmicas construtivas e históricas de edifícios com valor patrimonial, assume um papel de crescente relevância na modelagem digital do patrimônio cultural.

Para Navarro (2023) a compreensão da arquitetura com valor histórico-patrimonial não deve se limitar a essa precisão métrica e visual, mas deve investigar aspectos que a extrapolam, como a ordem interna das estruturas, seus mecanismos de construção, estruturas, deformações e patologias, mesmo que isso exija a aplicação de outras estratégias e instrumentos, como câmeras térmicas infravermelhas ou raios X, para citar apenas técnicas não invasivas, que revelam o interior das paredes. Os edifícios com valor histórico quase nunca foram construídos numa única fase, e mesmo nestes raros casos, as intervenções posteriores provavelmente afetaram, de alguma maneira, a construção original (Navarro, 2023).

Nesse panorama, Stanga *et al.* (2023) falam sobre como para desvendar a história inscrita na matéria construída, a arqueologia da construção emprega um método evidencial, partindo da observação de fenômenos visíveis na estrutura e retrocedendo em busca de suas causas através de um raciocínio que articula dedução

e indução, movendo-se do geral para o particular e vice-versa. Tais fenômenos manifestam-se em 'sinais', ou seja, características da própria arquitetura que comunicam sua trajetória temporal. A partir da identificação e análise desses sinais é que os arqueólogos 'reconstroem o passado', e isso não deve ser diferente na reconstrução digital. É importante notar, porém, que em vez de dar respostas finais sobre essa 'reconstrução' do passado, essas investigações abrem novas questões e possibilidades de pesquisa em cada etapa analisada. A modelagem digital, portanto, deve refletir essa abertura analítica, incentivando a formulação de novas perguntas em vez de apresentar interpretações como definitivas.

Portanto, no contexto da reconstrução digital, os 'sinais' advindos da interpretação do objeto com valor patrimonial devem ser cuidadosamente interpretados e integrados ao modelo, não como respostas definitivas, mas como hipóteses de leitura que abrem novas possibilidades investigativas. Cada camada identificada é, ao mesmo tempo, um dado empírico e um convite à interpretação crítica. A modelagem digital, quando guiada por essa perspectiva, transforma-se em uma ferramenta investigativa e não apenas representacional. Nesse horizonte, o HBIM, quando estruturado segundo princípios arqueológicos estratigráficos consegue ser uma ferramenta bastante útil.

Ainda assim, é preciso reconhecer seus limites, já que nem sempre a lógica paramétrica e categorizadora do (H)BIM é suficiente para comunicar as nuances e incertezas do processo interpretativo advindo da arqueologia. Por essa razão, o diálogo com outras tecnologias digitais, como visualizações em RA ou reconstruções em ambientes de RV, mostra-se não apenas desejável, mas necessário. Essas ferramentas, quando utilizadas com rigor metodológico, podem ampliar as possibilidades de leitura, comunicação e mediação dos saberes sobre o patrimônio.

Apontando as diferentes formas de se pensar o registro arqueológico, Sánchez *et al.* (2022) chama atenção para o fato de que este é um processo documental rigoroso e que requer um suporte gráfico preciso, pois à medida que os vestígios arqueológicos são exumados, estabelecem-se relações espaço-temporais que nos permitem conhecer o processo evolutivo do sítio em geral. Para os autores, a não documentação ou imprecisão gráfica de qualquer elemento arqueológico significa perda de informação. Nesse sentido, a integração de diferentes camadas de informação gráfica em uma única plataforma tecnológica apresenta-se como uma

possibilidade particularmente promissora no contexto da modelagem digital do patrimônio.

Essa convergência entre dados de natureza distinta (arquitetônicos, arqueológicos, cronológicos e materiais) vem sendo explorada por alguns grupos de pesquisa, com destaque para o grupo da Politécnica de Milão, na Itália, que tem desenvolvido metodologias de modelagem digital informadas por princípios arqueológicos (Banfi *et al.*, 2019; Banfi, 2020; Stanga *et al.*, 2023; Banfi *et al.*, 2022a). Esses pesquisadores propõem a incorporação de saberes e práticas consolidados na arqueologia da construção como elementos estruturantes dos processos de modelagem digital.

Dentre os métodos utilizados, destacam-se a análise estratigráfica das edificações, a cronotipologia<sup>11</sup>, a arqueometria<sup>12</sup>, a dendrocronologia<sup>13</sup>, o estudo de materiais e técnicas construtivas, a análise de acabamentos de superfícies e o uso de técnicas diagnósticas não destrutivas. Tais instrumentos permitem a compreensão da evolução estrutural dos edifícios, a interpretação de suas diferentes fases construtivas e a identificação de possíveis intervenções realizadas ao longo do tempo (Stanga *et al.*, 2023). Ao serem integradas à modelagem digital, essas abordagens ampliam sua capacidade interpretativa e fornecem uma base metodológica sólida para a representação da complexidade histórica e material dos bens patrimoniais (Stanga *et al.*, 2023).

Estes mesmo autores chamam atenção para a ideia de estratigrafia da construção, que diz respeito à análise e documentação das camadas de construção e ocupação de um sítio, permitindo identificar e categorizar elementos arquitetônicos e

---

<sup>11</sup> A cronotipologia é um método indutivo de datação arquitetônica que relaciona tipos construtivos, definidos por formas, dimensões e materiais, a períodos específicos de utilização histórica (Boato e Tiziano, 2002; Genovez, 2012). Desenvolvida na Itália na década de 1980, diferencia-se das análises estilísticas por buscar maior objetividade, sendo fundamentada em bancos de dados, medições precisas e, quando aplicável, análises estatísticas (Genovez, 2012; Villela, 2015).

<sup>12</sup> Campo interdisciplinar que emprega técnicas científicas (como radiocarbono, termoluminescência e arqueomagnetismo) para analisar materiais arqueológicos e arquitetônicos (Boato e Tiziano, 2002; Genovez, 2012; Villela, 2015). Surgiu na segunda metade do século XX e é essencial para a datação e caracterização de vestígios materiais (Genovez, 2012). Na arqueologia da arquitetura, complementa a análise estratigráfica e histórica, e seus resultados exigem interpretação crítica conforme o contexto.

<sup>13</sup> É reconhecida como uma técnica arqueométrica de datação, baseada na análise dos anéis sazonais de crescimento em madeira (Villela, 2015; Geovanez, 2012). Esse método permite determinar a época de vida da árvore até seu abate, conferindo precisão ano a ano à datação do material. Instrumento de datação de elementos construtivos em madeira a partir da análise de padrões e quantidade de anéis verificados em cortes radiais. Villela (2015) salienta que “não necessariamente o momento do corte da peça em madeira equivalerá ao momento de seu emprego na arquitetura”.

superfícies e proporcionando uma compreensão das transformações do local ao longo do tempo (Banfi *et al.*, 2022a; Banfi *et al.*, 2023a). A ideia de se realizar a integração das UEs em modelos digitais é defendida como fundamental para garantir que as reconstruções reflitam com precisão as fases de ocupação e intervenções históricas, sendo possível criar um material que enriqueça a pesquisa arqueológica e que auxiliem, também, na criação de representações digitais que capturam a complexidade histórica-espacial dos sítios.

### **3.6 O conceito de unidades estratigráficas (UE)**

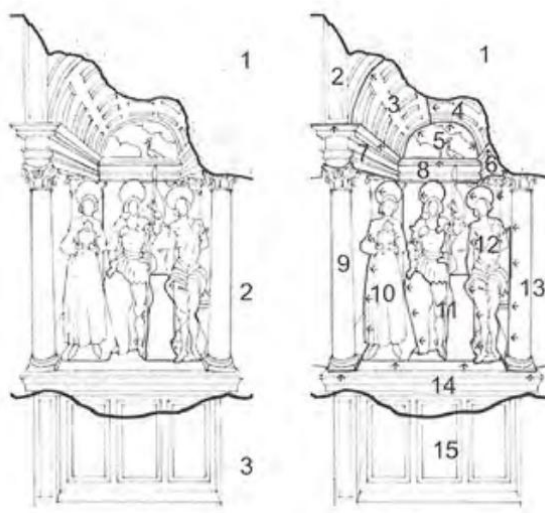
Edward C. Harris (1979), quando trata dos princípios da estratigrafia arqueológica, estabelece as UEs como elementos fundamentais para a compreensão da sequência temporal e espacial em sítios arqueológicos, definindo-as como porções distintas de solo, sedimento ou material construído, caracterizadas por atributos físicos como composição, textura, cor e estrutura. O autor em questão propôs um sistema de estudo baseado na decomposição das estruturas estratificadas em UEs, em que estas são a menor escala da leitura estratigráfica e representam “o aspecto arqueológico do ciclo tempo” (Harris, 1989, p.42). Além disso, Harris (1979) categoriza essas unidades, como positivas (adições, como paredes ou pisos) e negativas (remoções, como fossas ou cortes) e com base em princípios estruturais e no uso previsto para cada parte da construção, é possível determinar se uma camada foi construída ao mesmo tempo que outra (contemporaneidade), se veio antes (anterioridade) ou se foi adicionada depois (posterioridade).

Nesse contexto, Harris propõe o que se conhece como Matriz de Harris, que constitui um dos instrumentos metodológicos mais amplamente utilizados para representar graficamente as relações cronológicas entre as UEs. Essa matriz baseia-se em três leis fundamentais da estratigrafia arqueológica: i) a Lei da Superposição, segundo a qual as unidades superiores são mais recentes que as inferiores; ii) a Lei da Horizontalidade Original, que presume o depósito horizontal das camadas não consolidadas; e iii) a Lei da Continuidade Original, que determina que uma UE se estende lateralmente até encontrar os limites da bacia de deposição ou se extingue gradualmente. A aplicação da matriz permite ordenar as UEs em diagramas que evidenciam a sucessão dos eventos construtivos e destrutivos, servindo como ferramenta didática e analítica na organização da cronologia de uma estrutura arquitetônica.

Contudo, Villela (2015) ressalta que, embora eficaz em contextos de escavação arqueológica, a Matriz de Harris apresenta limitações quando aplicada a edificações, cujas dimensões tridimensionais e complexidade material demandam adaptações metodológicas. Nesse sentido, questões surgem: como as UEs devem ser definidas? É preciso sempre seguir a Matriz de Harris? Genovez, (2012, p.38) e Boato (2008, p.52), chamam atenção para o fato de que a definição das UEs não é um processo neutro: ele depende dos objetivos do pesquisador e do contexto da investigação. Boato (2008, p.52) ilustra isso citando um exemplo que é o afresco de Michelangelo na Capela Sistina, ela sinaliza que a depender do interesse do estudo, pode-se considerar o afresco como uma única UE ou subdividi-lo em várias unidades correspondentes às jornadas de trabalho do artista, por exemplo (Figura 17).

Figura 17 - Exemplificação de distintas formas de subdivisão de UEs, definidas conforme os objetivos específicos da investigação.

A primeira imagem apresenta a identificação de três unidades principais: UE01, correspondente à integração de uma lacuna com argamassa; UE02, relativa a um afresco; e UE03, referente a um afresco distinto do anterior. Já na outra imagem foram consideradas como unidades estratigráficas as diferentes jornadas de trabalho relativas à execução do afresco.



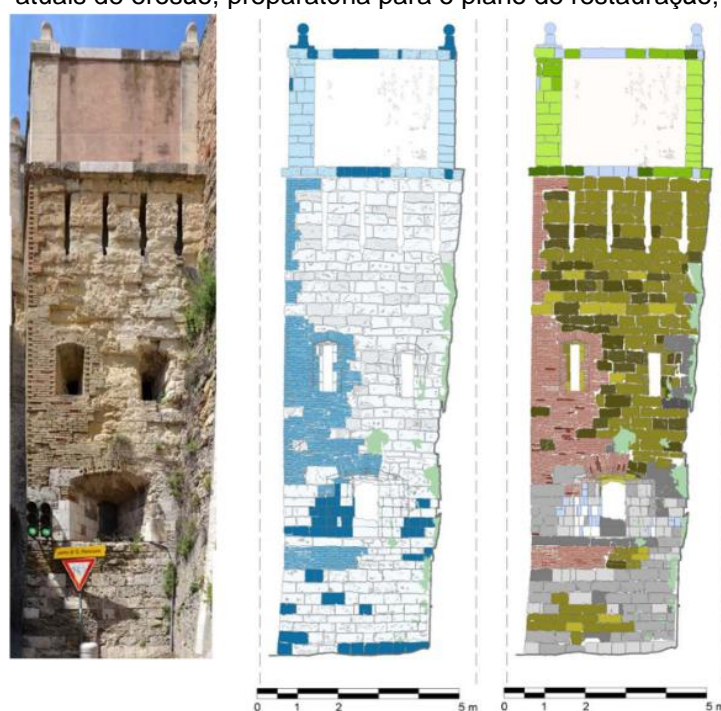
Fonte: Boato, 2008, p. 53.

No campo da arqueologia da arquitetura, segundo Boato (2004, p. 301), as UEs são entendidas como os elementos base da análise estratigráfica. São chamadas de “unidades” porque apresentam uma continuidade e de “estratigráficas” porque derivam de um processo de estratificação, ou seja, de ações construtivas e destrutivas que se sobrepõem ao longo do tempo. Para Fiorino (2015), as unidades estratigráficas são os menores elementos que compõem um edifício e que possuem características

próprias que permitem sua descrição em termos geométricos, materiais, construtivos, conservativos e cronológicos.

Para exemplificar a aplicação prática da análise estratigráfica em um projeto de restauro, Fiorino (2015) apresenta o caso da Porta D'Altamira em Cagliari, decompondo a construção em suas UEs, conforme ilustrado na figura 18. A análise estratigráfica foi utilizada para mapear as diferentes fases construtivas e os graus de erosão do objeto de estudo. As cores no diagrama central representam as fases de construção, enquanto o diagrama à direita codifica os níveis de erosão, demonstrando como a estratigrafia permite vincular a história da construção aos processos de degradação, informação essencial para um projeto de restauro eficaz.

Figura 18 - Estudo da estratificação e interfaces de integração devido à erosão e definição dos níveis atuais de erosão, preparatória para o plano de restauração;



Phase	DEGREE	PHENOMENOLOGY	MATERIALS ANALYSED				
			Petra lilla	Petra calcarea	Calc. local	Sandstone	Travertine
Phase 1	0	Absence of erosion					
Phase 2	I	Surface erosion of reduced intensity					
Phase 3	II	Surface erosion of low intensity, within 2 cm and not more than $\frac{1}{3}$ of thickness for element					
Phase 4	III	Deep erosion, $\geq \frac{1}{3}$ of the thickness for element, without important consequence for the static behaviour of the built system					
	IV	Deep erosion that compromises the static behaviour of the built system					

Fonte: Fiorino (2015) (desenho realizado no Curso Integrado de Restauração e Tecnologia da Construção, Mestrado em Arquitetura, Universidade de Cagliari, AA. 2012/2013, alunos A. Manca, D. Orrù, F. Farci e F. Savona)

Para Boato e Grottin (1992), as UEs podem ser identificadas porque possuem limites bem definidos, chamados interfaces. Esses limites marcam as diferenças entre camadas e ajudam a entender a ordem em que foram construídas ou modificadas. Já

para Fiorino (2015), as interfaces entre UEs ultrapassam limites gráficos ou linhas de separação no modelo construtivo, pois são zonas cruciais de interação e conexão entre unidades, nas quais se desenvolvem fenômenos físicos, químicos e estruturais de elevada complexidade. O referido autor sustenta que o exame detalhado dessas interfaces é elemento essencial nos projetos de restauração, uma vez que é precisamente nesses pontos que se evidenciam questões relevantes para a integridade do bem, como: (i) problemas de conexão e transmissão, relacionados à forma como cargas, tensões, umidade e calor são distribuídos entre as UEs; (ii) problemas de compatibilidade, decorrentes da utilização de materiais distintos, cujas propriedades físicas e químicas podem dar origem a reações adversas, como expansões desiguais e degradações químicas; e (iii) processos de degradação, sendo as interfaces frequentemente os locais iniciais ou de intensificação de tais processos.

Na leitura estratigráfica dos elementos estudados através da arqueologia da arquitetura, os limites das UEs são elementos fundamentais para a reconstrução da sequência construtiva. Segundo Doglioni (2008) apud Genovez (2012), são por meio desses limites que a estratificação se manifesta. As bordas podem se apresentar de diferentes formas: a) Borda verdadeira: ocorre quando a UE termina de maneira intencional. Indica um limite de construção planejado. Borda negativa: aparece quando há interrupção por demolição. É caracterizada por irregularidades e asperezas. Borda de espera: quando a interrupção é prevista e temporária, com a expectativa de continuidade construtiva. Borda falsa ou de apoio: surge quando a UE foi construída em contato com outra já existente, assumindo seu perfil em negativo. Além disso, é necessário considerar que o limite não é apenas uma linha visível, mas sim uma superfície tridimensional que constitui uma interface entre duas unidades, muitas vezes invisível, pois está voltada para o interior da construção (Boato, 2008).

### **3.7 A aplicação das UEs na reconstrução digital e HBIM**

Incorporando essa discussão à ideia de reconstrução digital, Demetrescu (2015) aborda o conceito de UE em seu trabalho sobre estratigrafia arqueológica como uma linguagem formal para a reconstrução digital. O autor propõe o uso de uma linguagem formal, baseada na abordagem de leitura estratigráfica, para conectar a documentação arqueológica e a reconstrução digital nas fases iniciais do levantamento. Nesse contexto, o uso de ferramentas como as UEs, para o autor, é utilizado para definir não apenas elementos reconstrutivos, mas também as fontes nas

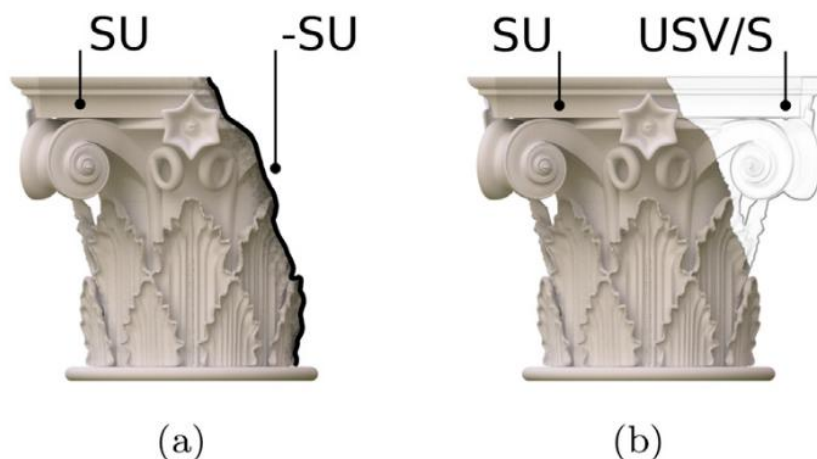
quais eles se baseiam, com o objetivo de rastrear todo o processo de reconstrução digital, ou seja, a UE deixa de ser apenas um elemento físico no sítio arqueológico para se tornar também um elemento fundamental na organização e documentação do processo de reconstrução digital.

Tradicionalmente, a UE representa uma camada ou evento arqueológico (uma parede, um piso, uma demolição). Demetrescu (2015) propõe ‘estender’ o conceito de UE para que ele inclua também as fontes de informação utilizadas na reconstrução digital. Então, além de definir os elementos reconstruídos (uma coluna que não existe mais, por exemplo), a UE passa a registrar de onde veio a informação para reconstruir esse elemento (um desenho antigo, uma descrição textual, entre outros.) No âmbito dessa discussão, o autor introduz e articula os conceitos de UE, -UE (Unidade Estratigráfica Negativa) e UEV (Unidade Estratigráfica Virtual). A UE corresponde a um elemento físico identificado no processo de análise estratigráfica, como uma parede ou camada de piso. Já a -UE refere-se a uma unidade estratigráfica negativa, representando uma remoção, ausência ou intervenção que subtraiu parte da materialidade originalmente presente. Por fim, a UEV, entendida como um instrumento conceitual e metodológico para a reconstrução hipotética de elementos ausentes. A UEV permite representar digitalmente tanto o que foi removido (relacionado à -UE), quanto a interpretação arqueológica de sua forma e função originais. Assim, por meio dessa tríade conceitual, o autor estabelece um modelo de representação que integra dados empíricos e hipóteses interpretativas, articulando de forma coerente a realidade material remanescente e as inferências produzidas no âmbito da reconstrução digital.

Além disso, Demetrescu (2015), distingue duas conceituações fundamentais no processo de reconstrução digital: o ‘modelo baseado em realidade’ e o ‘modelo baseado em origem’ (Figura 19). O primeiro refere-se à representação tridimensional obtida por meio do levantamento direto dos remanescentes físicos ainda existentes de um determinado sítio ou monumento, uma modelagem fundada na documentação geomática precisa do que é concretamente observável no presente, diferenciando-se de reconstruções interpretativas ou hipotéticas. E o segundo seria o “modelo baseado em origem”, que conforme argumenta o autor, implica a utilização de múltiplas fontes documentais, como registros gráficos, relatos históricos e dados arqueológicos, para representar elementos que já não se encontram mais fisicamente preservados. A denominação ‘baseado em origem’ visa sublinhar que tais modelos são fruto de um

processo interpretativo fundamentado em evidências e hipóteses, compondo uma síntese de dados dispersos no tempo e no espaço.

Figura 19 - 1) O modelo resultante da pesquisa ou do "modelo baseado em realidade"; 2) o "modelo baseado em origem". O objeto (SU) passou por um corte (-SU) que pode ser preenchido por uma hipótese de reconstrução (USVs).



Fonte: Demetrescu (2015)

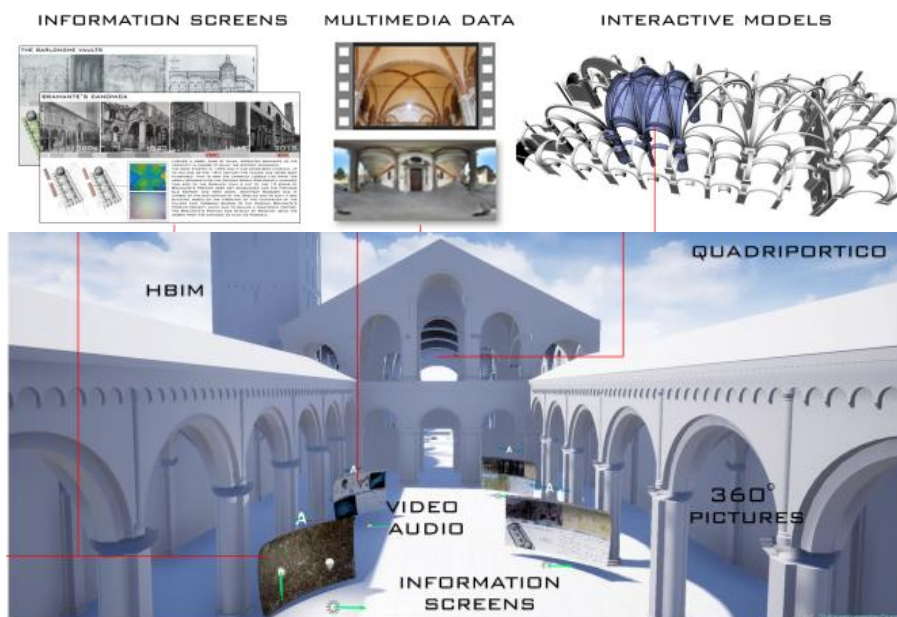
Apesar de não chamar propriamente de HBIM, Demetrescu (2015) traz contribuições importantes ao processo de modelagem utilizando a metodologia de estratigrafia, mesmo sem tratar diretamente deste conceito. Banfi *et al.* (2019) utiliza o HBIM e faz algo semelhante ao apontado por Demetrescu (2015): ao realizar a reconstrução digital da Basílica de Sant'Ambrogio, em Milão, os autores empregam um processo de 'subtração virtual' que se assemelha à análise estratigráfica. O modelo 3D da basílica, neste estudo, é progressivamente 'desconstruído' em ambiente digital, removendo digitalmente elementos arquitetônicos de períodos mais recentes para revelar suas configurações em épocas anteriores, tudo isso com base em documentos e fotografias:

O processo de subtração virtual é baseado na correlação de dados geométricos (pesquisa 3D) e históricos (documentos, estudos anteriores), e são os resultados da interpretação de cada fonte de dados. É baseado na correlação de fontes "diretas" e "indiretas": a primeira é o próprio edifício (sua geometria, materiais, técnicas...), enquanto o segundo é sua documentação (desenhos, crônicas, fotos...). O último é uma fonte "indireta" porque é influenciada por fatores externos: seus autores e o período em que o documento/foto foi escrito/tomado (Banfi *et al.*, 2019, p. 17, tradução da autora).

A técnica, nesse contexto, permite explorar cronologicamente as diferentes fases históricas do edifício, partindo dos elementos mais recentes e retrocedendo no tempo, com a vantagem de preservar toda a documentação das etapas removidas

virtualmente. No caso da Basílica de Sant'Ambrogio, foi possível fazê-lo digitalmente graças às reconstruções digitais 2D e 3D das fases históricas da igreja. Os autores fizeram o uso de outros tipos de arquivo multimídia que foram utilizados para enriquecer o modelo criado sob estes preceitos, sendo possível criar telas de informação e objetos virtuais interativos (Figura 20). Essa abordagem evita a adoção de uma cronologia rígida ou linear, ao permitir a incorporação de dados com diferentes níveis de certeza, distinguindo entre fatos verificados e hipóteses interpretativas, e mantendo em aberto os aspectos ainda não elucidados das fases construtivas. Além disso, o método possibilita a associação de unidades visíveis e espacialmente adjacentes em um ambiente tridimensional, o que facilita tanto a análise quanto a comunicação dos dados.

Figura 20 - O projeto XR forneceu diferentes fontes de dados, como telas de informação, dados multimídia e um modelo interativo.



Fonte: Banfi *et al.* (2019)

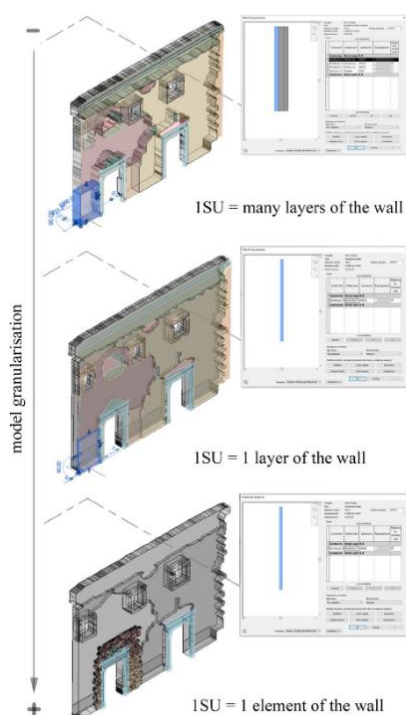
Já Stanga (2023), de maneira mais pragmática em relação à conceituação das UEs, aponta dificuldades em traduzir a tridimensionalidade as relações entre as diversas camadas construtivas do mundo físico para as lógicas paramétricas do HBIM. Essa limitação ecoa a necessidade, aqui defendida, de uma abordagem que reconheça o edifício histórico não apenas como um objeto geométrico a ser modelado, mas como um arquivo estratificado de intervenções e significados. A autora enfatiza que a mera representação geométrica no HBIM se mostra limitada para capturar a profundidade da análise estratigráfica, que busca entender a sequência e a lógica das ações construtivas e destrutivas ao longo do tempo. Então, ela propõe o que chama de *Building Archaeology Informative Modelling* (BAIM), que é uma tentativa de superar essas lacunas, buscando integrar de forma mais eficaz a riqueza informacional da arqueologia da construção no ambiente digital, alinhando-se com a necessidade de uma documentação patrimonial que dialogue com a complexidade histórica e material dos bens culturais edificados.

Stanga (2023), para ilustrar a definição e a aplicação prática do BAIM, apresenta dois estudos de caso distintos, empregando metodologias de adaptação da abordagem proposta que se adequam às especificidades de cada contexto patrimonial: a Igreja de São Francesco em Arquata del Tronto e o Aqueduto Cláudio-Ânio Novo em Roma. Através desses dois casos a autora ilustra a **versatilidade do método proposto e como sua implementação prática pode ser moldada pelas**

### características específicas do bem patrimonial e pelos objetivos da investigação e intervenção.

No caso da Igreja de São Francesco, em Arquata del Tronto, um edifício com uma história construtiva complexa marcada por diferentes fases e danos sísmicos, a metodologia adaptada envolve a criação de três representações distintas das UEs dentro do ambiente HBIM (Figura 21). No primeiro caso, a UE foi modelada como estrutura de alvenaria composta, incluindo todas as suas camadas. No segundo, as UEs são modeladas como camadas individuais, ou seja, cada camada hipotética da parede foi modelada separadamente, com sua própria espessura e no fim a parede é representada como composta por várias camadas distintas. Por último, o terceiro caso, as UEs foram modeladas como pedras individuais. Nesta representação, cada pedra que compõe a UE é identificada e modelada individualmente.

Figura 21 - Os três tipos de representação de UE no caso da Igreja de St. Francesco.



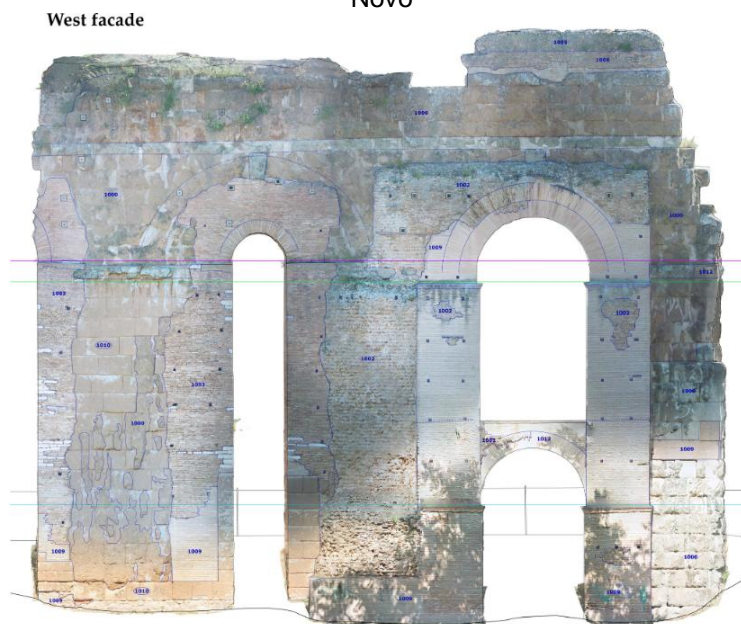
Fonte: Stanga (2023)

Stanga (2023) aponta que, no primeiro caso, a modelagem como alvenaria composta revela-se útil quando a estratigrafia da parede não é suficientemente conhecida. No entanto, mostra-se inadequada quando as diferentes camadas pertencem a fases construtivas distintas, o que exige maior detalhamento para uma leitura cronológica precisa. Já o segundo caso, em que cada UE pertencente à parede

é uma camada, pode ser usado quando adições são feitas com materiais diferentes e espessuras variadas e nele, cada camada da parede possui sua própria área, volume e características físicas (cronologia, descrição). Por último, no terceiro caso, a representação das pedras como unidades autônomas é particularmente útil em estudos que demandam caracterização individualizada dos elementos construtivos, como em análises de deterioração. Contudo, é relevante destacar que o mapeamento da deterioração constitui um campo de investigação distinto, uma vez que seus padrões nem sempre correspondem à lógica de subdivisão das UEs. Por exemplo, a colonização biológica pode afetar simultaneamente diferentes materiais pertencentes a mais de uma unidade estratigráfica.

Já no estudo do Aqueduto Cláudio-Ânio Novo, em Roma, um sítio arqueológico com remanescentes de uma infraestrutura romana, a metodologia apresentada por Stanga (2023), foi a organização das UEs baseada na distinção entre o núcleo estrutural do objeto de estudo e seus revestimentos (Figura 22). Os pesquisadores classificaram as UEs em duas categorias principais: Unidades Estratigráficas de Alvenaria, que são as partes da estrutura construídas com alvenaria e Unidades Estratigráficas de Superfície, que representam os revestimentos ou acabamentos aplicados às estruturas. Considerando que o aqueduto remanescente consistia principalmente em estruturas de reforço em alvenaria de tijolos sobre um núcleo de concreto romano, optou-se por modelar o concreto romano como uma única UE, enquanto os revestimentos de tijolo, que mostram as diferentes intervenções e restaurações, foram separados em UEs individuais. Cada elemento digital que representa uma porção do aqueduto foi enriquecido com um conjunto específico de parâmetros informativos, incluindo a identificação única da UE, sua localização geográfica dentro do aqueduto, o tipo de material construtivo, e informações sobre sua condição e datação estimada, entre outros.

Figura 22 - Unidades estratigráficas da fachada leste no estudo de caso do Arqueduto Cláudio-Ânio Novo



Fonte: Stanga *et al.*, 2023

Ao falar sobre o processo de digitalização de objetos com valor patrimonial, Stanga *et al.* 2023 chama atenção para o que deve ser considerado na hora de se criar um modelo digital:

Deve considerar o conhecimento adquirido sobre a história, fases de construção, técnicas e materiais por meio de observações, investigações diagnósticas, suposições e hipóteses, caso alguns dados ainda não tenham sido estudados ou disponibilizados. Deve também considerar o estado de conservação, o mapeamento de fenômenos de alteração e degradação e quaisquer indícios de intervenções anteriores. Essa integração permite uma sinergia entre a necessidade de conhecimento e as possibilidades de simulação. O modelo HBIM final torna-se, assim, uma representação fiel não apenas do objeto em si, mas de todo o processo construtivo da intervenção. Ele permite a extração, o gerenciamento e o controle de aspectos específicos de interesse para os diferentes profissionais envolvidos, como aspectos materiais e degradação. Esses aspectos compartilhados são coletados em um único banco de dados digital que pode ser continuamente expandido ao longo do tempo e, gradualmente, apoiar os esforços de pesquisa e restauração. (Stanga *et al.*, 2023, p. 20, tradução da autora)

Para Brumana (2023), um modelo HBIM de qualidade exige mais do que apenas precisão geométrica. A autora argumenta que a qualidade desses modelos depende da inclusão de informações da análise dos materiais, aprimorada pelo uso de dados fotogramétricos de alta resolução. Nesse sentido, ela aponta a importância de se utilizar recursos como imagens retificadas e ortofotos nos modelos 3D, destacando que as geometrias que mostram informações sobre materiais e técnicas de construção ajudam a criar um modelo 3D mais completo.

O desenvolvimento de modelos HBIM informados pela arqueologia da arquitetura, ancorados nas UEs, oferece uma base sólida para a documentação e compreensão do patrimônio edificado. No entanto, a complexidade inerente à representação das múltiplas fases construtivas, das incertezas interpretativas e dos significados imateriais frequentemente desafia os limites das interfaces tradicionais de modelagem. É nesse contexto que as xRs surgem como ferramentas de potencial valor para complementar estrategicamente a metodologia HBIM baseada em UE, ampliando a capacidade de visualização, interpretação e comunicação dessas camadas históricas.

## 4 O HBIM E AS xRs

### 4.1 Os usos do HBIM-xR

A integração HBIM-xR é viável pois tecnologias como a RA e RV possuem capacidade de aprimorar a compreensão e a análise do patrimônio pelos especialistas e equipes multidisciplinares, ou até mesmo a sociedade, fornecendo uma nova forma de interação destes sujeitos com o objeto com valor patrimonial. O HBIM serve como um repositório centralizado de dados provenientes de diversas fontes (geométricas, históricas, materiais, arqueológicas, entre outros) (Banfi *et al.*, 2021; Banfi *et al.*, 2023a; Banfi *et al.*, 2023b; Sánchez *et al.*, 2022; Osello *et al.* 2018). No entanto, a visualização e a interação com esses dados em ambientes 2D tradicionais ou mesmo em modelos BIM puramente geométricos podem ser limitadas, especialmente para estruturas complexas e irregulares típicas do patrimônio construído. As xRs aparecem como possibilidades de superar limitações inerentes às representações digitais convencionais, oferecendo interfaces digitais de interação e de imersão. Dentre essas superações, destacam-se as vantagens apontadas na Tabela 03:

Tabela 3 - Vantagens de utilizar o HBIM com xR na gestão patrimonial

Aspectos positivos	Referências que apontam isso
Facilitar o acesso ao objeto em situações complexas;	Sánchez <i>et al.</i> (2022), Osello <i>et al.</i> (2018), Baik <i>et al.</i> (2021) Lee <i>et al.</i> (2019)
Reduzir o tempo para conclusão de tarefas e diminuição de carga mental de profissionais envolvidos;	Lee <i>et al.</i> (2019), Banfi <i>et al.</i> (2022)
Possibilitar acesso a informações em tempo real;	Lee <i>et al.</i> (2019), Banfi <i>et al.</i> (2022)
Possibilitar a colaboração remota e tornar dados acessíveis para profissionais que não	Stanga <i>et al.</i> , (2023), Lee <i>et al.</i> (2019), Xi <i>et al.</i> , (2022), Banfi <i>et al.</i> (2023b; 2023c), Sánchez <i>et al.</i>

são do setor AEC;	(2022), Baik (2021).
Ajudar na análise de complexidades geométricas e de materiais através de representações interativas e com foco em imersão;	Banfi <i>et al.</i> (2023a), Stanga <i>et al.</i> (2023), Bruno <i>et al.</i> (2022)
Possibilitar o desenvolvimento de novas abordagens de narrativa, abrangendo o intangível do patrimônio;	Banfi <i>et al.</i> (2023b), Banfi (2020), Banfi <i>et al.</i> (2022), Navarro (2023)
Reconstruir ou recriar digitalmente um bem patrimonial em diferentes tempos de sua existência;	Banfi <i>et al.</i> (2022), Tini <i>et al.</i> (2024), Stanga <i>et al.</i> (2023), Banfi <i>et al.</i> (2023)
Monitorar e avaliar riscos (como gestão de incêndios e situações emergenciais);	Lee <i>et al.</i> (2019), Clini <i>et al.</i> (2023), García <i>et al.</i> (2018), Baik (2021)

Fonte: Autora, 2024

Dentre as vantagens apontadas, uma questão central que as xR auxiliam a resolver refere-se às limitações no acesso e na comunicabilidade de dados, um desafio inerente a qualquer modelo HBIM, incluindo modelagens a partir de UEs. Apesar do potencial de softwares BIM de armazenamento dados, o nível de acesso a eles é limitado, muitas vezes por questões de propriedade da informação. Isso impede, por exemplo, a integração de dados úteis provenientes de entidades ou sistemas externos que não concedem autorização (Lee *et al.*, 2019). Assim, informações por vezes importantes para enriquecer o modelo e a compreensão do patrimônio podem não ser incorporadas ao sistema HBIM devido a esta incompatibilidade. Nesse contexto, Lee *et al.* (2019) destacam que as tecnologias xR apresentam vantagens em relação ao acesso e à visualização de dados, já que viabilizam uma compreensão mais profunda do contexto do patrimônio por permitirem o acesso facilitado a informações externas, o que é crucial para o gerenciamento eficaz de riscos. Nesse mesmo sentido, ao falar da comunicabilidade dos modelos com profissionais que não são do ramo da construção civil, autores como Osello, *et al.* (2018) e Baik, *et al.* (2021) apontam que as xR trazem vantagens por simplificarem a navegação e a compreensão de informações. Isso é relevante em situações que envolvem múltiplas camadas de dados e, onde a clareza e a inteligibilidade são fundamentais para a tomada de decisões informadas, por diversos profissionais envolvidos, como por exemplo, em casos de patrimônios arqueológicos. (Sánchez *et al.*, 2022; Osello, *et al.*, 2018; Baik, *et al.*, 2021; Lee *et al.*, 2019).

Outra vantagem é em relação à eficiência e otimização do tempo. Lee *et al.*, (2019) aponta que a implementação de tecnologias como HBIM e xR pode reduzir significativamente o prazo necessário para a conclusão de tarefas relacionadas à

gestão do patrimônio, não apenas acelerando os processos, mas também diminuindo a carga mental dos profissionais envolvidos, permitindo que eles se concentrem em aspectos mais criativos e analíticos de seu trabalho. A automação e a digitalização de processos são destacadas como ferramentas essenciais para otimizar a eficiência e a produtividade no campo da preservação do patrimônio (Banfi *et al.*, 2022).

Além disso, a possibilidade de acesso à informação em tempo real também é apontada como uma vantagem, sendo possível monitorar e acessar dados atualizados ou atualizá-los instantaneamente em campo, permitindo que os profissionais respondam rapidamente a mudanças e desafios, melhorando a tomada de decisões em relação a intervenções e ações de conservação (Lee *et al.*, 2019). Isso se potencializa em emergências ou quando se lida com a conservação de estruturas históricas arqueológicas, por exemplo, onde a informação mais precisa possível pode fazer a diferença entre a preservação e a deterioração. (Banfi *et al.*, 2022).

As xR também têm se mostrado ferramentas importantes na colaboração remota entre profissionais, conforme destacado por Baik (2021). A exploração de modelos BIM 3D em xR permite conectar especialistas geograficamente dispersos, oferecendo um ambiente digital onde análises de intervenções, planejamento e observação de detalhes podem ser realizados de forma mais precisa e eficiente. Essa abordagem é particularmente útil em projetos de preservação do patrimônio, onde a contribuição de profissionais de diferentes áreas, como arqueólogos, arquitetos e gestores culturais, enriquece o processo de conservação e gestão (Stanga *et al.*, 2023; Lee *et al.*, 2019; Xi *et al.*, 2022; Banfi *et al.*, 2023b; 2023c). Através deste ambiente digital, informações provenientes de diferentes disciplinas podem ser reunidas, facilitando o acesso à documentação e promovendo uma comunicação mais eficiente (Sánchez *et al.*, 2022). Essa integração multidisciplinar garante um processo de trabalho mais colaborativo, organizado e eficaz para a gestão de bens culturais.

Ademais, as xRs são ferramentas que contribuem para o desenvolvimento de estratégias de preservação a longo prazo, visto que auxiliam os profissionais responsáveis pela salvaguarda patrimonial a realizarem análises de estruturas com geometrias complexas e materiais em seus mais diversos estados de conservação. A representação interativa e de imersão de dados pode auxiliar pois permite que os profissionais visualizem e interajam com modelos tridimensionais ricos em detalhes fiéis à realidade, facilitando a compreensão de questões que podem passar despercebidas em representações bidimensionais e até em campo (Banfi *et al.*,

2023a; Stanga *et al.*, 2023; Bruno, *et al.*, 2022). Isso não só melhora a análise técnica, mas também enriquece a experiência de aprendizado e a comunicação entre os profissionais envolvidos, por possibilitar que estes dados sejam apontados e comentados.

Outro apontamento positivo é a possibilidade que as xR oferecem em relação ao desenvolvimento de novas abordagens de narrativa, abrangendo o intangível do patrimônio, como tradições e histórias culturais (Banfi *et al.*, 2023b; Banfi, 2020; Banfi *et al.*, 2022; Navarro, 2023). Nesse contexto, Banfi (2021) aponta que o próprio conceito de patrimônio digital pode ser dividido em tangível e intangível. O tangível inclui bens físicos, como edifícios, monumentos e objetos culturais, que são digitalizados por meio de tecnologias como escaneamento 3D e modelagem gráfica, já o intangível abrange elementos imateriais, como tradições, práticas culturais e conhecimentos, registrados em formatos digitais, como vídeos, áudios e textos. Essa discussão foi abordada anteriormente citando o trabalho de Magalhães (2019) na Fazenda Boa Esperança como um exemplo de esforço para utilizar a representação digital de imersão como agregadora dessas diferentes dimensões, mas apontando-as como novas formas possíveis de se interpretar e interagir com o mundo e não como 'substitutas' daquilo que é real e que, em essência, integra essas diversas dimensões (tangíveis, intangíveis...).

Reforçando o esforço de se realizar esta integração, Rafeiro *et al.*, (2024), acrescentam que a inclusão da história intangível no patrimônio digital é essencial para uma compreensão mais abrangente e sustentável do patrimônio cultural. Exemplos de patrimônio imaterial no contexto do patrimônio edificado podem incluir técnicas de construção, utilização de espaços para práticas ritualísticas, cerimônias, eventos, adição de histórias orais ou outros significados culturais invisíveis associados a um objeto ou lugar. Desde a década de 1970, documentos internacionais começaram a incorporar não apenas a proteção de bens tangíveis, mas também aspectos intangíveis, como as práticas culturais citadas, que também são fundamentais para a identidade de um lugar (Rafeiro *et al.*, 2024).

Alinhados a essa perspectiva, Stanga *et al.* (2023), reforçam a necessidade de que o processo de modelagem de bens patrimoniais (baseado em UEs) considere o conhecimento acumulado sobre a história do objeto, suas fases construtivas, técnicas e materiais utilizados, por meio de observações, diagnósticos, hipóteses e dados ainda em construção, bem como devem ser considerados o estado de conservação,

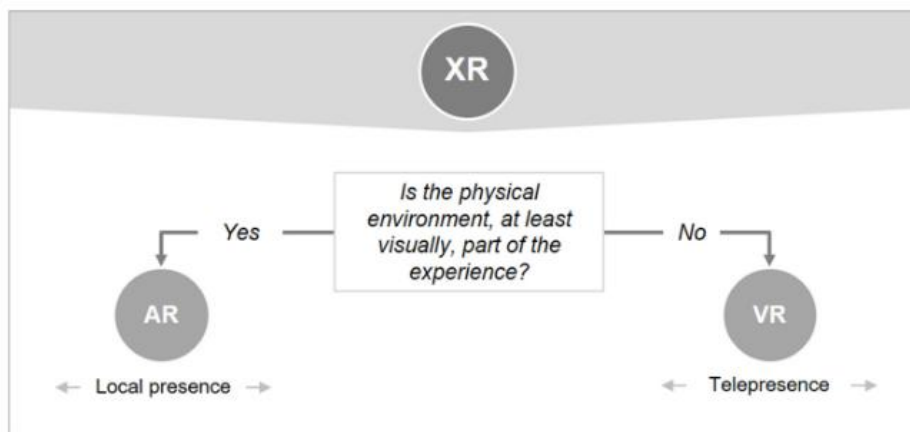
os fenômenos de degradação e vestígios de intervenções anteriores. Nesse sentido, o HBIM associado às xRs, tem sido elogiado pela sua contribuição para a sustentabilidade da memória cultural intangível, utilizada não apenas na documentação e gestão do patrimônio, mas também como meio de visualização e aprendizagem cultural (Rafeiro *et al.*, 2024).

#### **4.2 xR no Patrimônio Cultural e a responsabilidade na mediação tecnológica**

No primeiro capítulo desta dissertação trouxe uma breve discussão a respeito de alguns termos que podem gerar confusão ao longo do texto. Aqui, irei retomar alguns deles com mais profundidade, visto que termos como RA, RV, RM e xR vem sendo frequentemente usados de maneira intercambiável ou com definições divergentes na academia e na indústria. Faço isso pois essa falta de precisão conceitual pode gerar expectativas irreais, dificultar a comunicação interdisciplinar (tão vital na área do patrimônio, que congrega arquitetos, arqueólogos, historiadores, entre outros) e até comprometer a experiência do usuário e a eficácia das tecnologias aplicadas. A definição de cada uma destes termos está posta no capítulo 2, tópico 2.8.

Como visto anteriormente, o termo "xR" não deve ser simplisticamente entendido como '*Extended Reality*' (Realidade Estendida). Uma definição mais precisa e útil para "xR" é '*xReality*', onde o "x" funciona como uma variável, um *placeholder* para qualquer forma de 'nova realidade' (Rauschnabel *et al.*, 2022). Essa conceituação de '*xReality*' atua como um termo guarda-chuva que engloba as diversas formas de realidades digitais que têm sido exploradas. Dentro deste guarda-chuva, há uma 'estrutura *xReality*', discutida por Rauschnabel *et al.*, (2022), que distingue fundamentalmente duas grandes categorias de experiências, baseando-se em um critério crucial do ponto de vista do usuário: a presença, ou ausência visual, do ambiente físico local na experiência (Figura 23).

Figura 23 - xR como termo guarda-chuva que engloba RA e RV.



Fonte: Rauschnabel *et al.* (2022)

A distinção central operada por esta estrutura reside não no *hardware* utilizado para a experiência, mas primordialmente na **experiência do usuário**. O ponto de inflexão para a classificação entre RA e RV é a percepção do usuário sobre a inclusão ou exclusão do ambiente físico em sua experiência digital.

Especificamente, observamos um acordo geral que a distinção entre RA e RV deve ser feita com base no ambiente físico, pelo menos visualmente, parte da experiência do usuário ou não. Ou seja, qualquer distinção com base apenas no hardware subjacente não é apropriada. Por exemplo, pode-se usar um "dispositivo da marca RV" com câmeras frontais e apresentar a RA de vídeo para um usuário. Embora o próprio dispositivo possa ser classificado (ou comercializado) como "RV", o usuário de fato experimentaria RA (semelhante ao RA em um smartphone) (Rauschnabel *et al.*, 2022, p.6, tradução da autora).

Entretanto, ao analisar o *framework* proposto na figura 23, em linhas gerais, a lógica é a seguinte: se o ambiente físico, ao menos visualmente, permanece parte da experiência percebida pelo usuário, estamos no domínio da RA. Se, por outro lado, o usuário está *imerso* em um ambiente digital, *sem a percepção contínua do seu entorno físico* imediato, trata-se de RV. Chamo atenção, então, para a ideia de *presença*.

Presença pode ser entendida como o estado psicológico, a sensação subjetiva do usuário de 'estar lá', seja 'lá' no mundo físico (real) aumentado ou 'lá' no mundo digital (Vasconcelos, 2021; Vasconcelos, 2023; Rolla *et al.*, 2022). Entretanto, a sensação de presença, que permite a distinção mais acurada entre as formas de RA e RV, depende de um conjunto multifacetado de fatores que vão muito além da capacidade básica de 'imersão' de um dispositivo. Reduzir a complexidade dessas experiências a essa métrica da 'imersão' nos limita a uma avaliação focada apenas no quão envolvente ou confinante é a tecnologia, ignorando a riqueza e as nuances da percepção do usuário.

A problematização do conceito de imersão revela a necessidade de ir além da capacidade técnica do sistema e considerar a complexidade da experiência humana, incluindo os fatores cognitivos, sensoriais e contextuais que moldam a sensação de 'estar lá'. Dito isso, ao falar sobre o uso de xR no patrimônio, corre-se o risco de atribuir a estas tecnologias a tarefa de produzir um impacto emocional nos usuários em relação à criação de 'afetividade' e identificação com um bem a partir do uso de tecnologias, enxergando-as como soluções capazes de mediar camadas de significado e tensionar as relações entre memória, materialidade e narrativa.

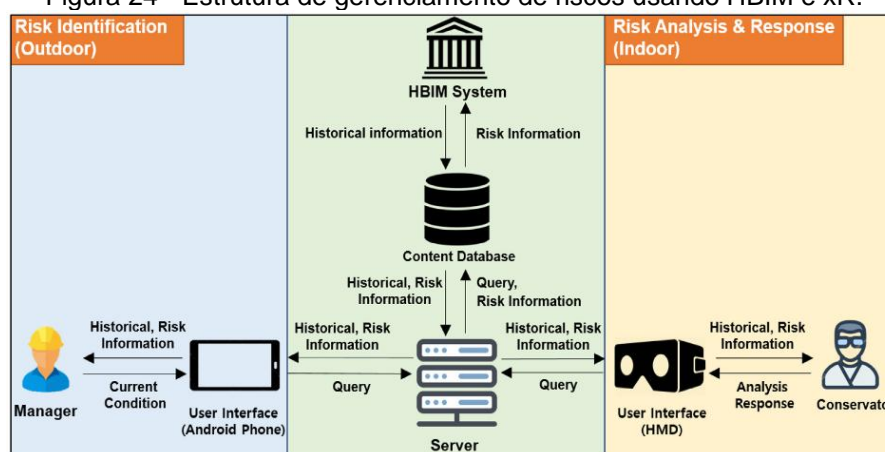
Entretanto, embora as tecnologias de xR possam contribuir significativamente para ampliar as formas de interação, interpretação e engajamento com o patrimônio, elas não devem ser tomadas como instrumentos autossuficientes. A eficácia dessas tecnologias depende, sobretudo, da intencionalidade de quem as utiliza, tanto na concepção do conteúdo quanto na vivência da experiência. Sem um projeto crítico e situado, corre-se o risco de que tais recursos apenas reforcem uma camada superficial de 'vivência do patrimônio', deslocando a atenção daquilo que é central: os processos sociais que sustentam sua valorização e permanência. A xR pode favorecer novas formas de apropriação simbólica do patrimônio, mas não substitui as políticas públicas, o envolvimento comunitário e a negociação contínua de significados que garantem sua salvaguarda efetiva.

Seu uso ético e contextualizado pode, sim, propor caminhos inovadores de mediação cultural, desde que sem apagar as tensões e disputas que definem o campo patrimonial. Moura (2023) traz a ideia de que um patrimônio em meio digital pode ser capaz de recuperar valores estéticos de um bem incitando a difusão, o debate e a compreensão de patrimônios simbólicos de uma comunidade que pode nem existir mais. A autora aponta a possibilidade de tecnologias xR terem a capacidade de prover uma "dimensão temporal a representações espaciais que permitem refletir o passado, preencher lacunas de conhecimento histórico, recriar futuros e enriquecer nossa imaginação e capacidade criativa" (Moura, 2023, p.33).

Isto posto, há um trabalho que ilustra bem o uso variável da RV e da RA, sustentado pela experiência do usuário, mas especificamente trabalhando com gestão patrimonial. O estudo de Lee *et al.* (2019) propõe uma estrutura de dados e um *framework* voltados à gestão de risco no patrimônio arquitetônico por meio da integração entre o HBIM e xR. Utilizando como estudo de caso o edifício histórico *Gwandeokjeong*, na Coreia do Sul, os autores exploram a aplicação da xR tanto em

contextos ‘no local’ quanto ‘remoto’, com foco em diferentes perfis de usuários (gestores e conservadores), para ilustrar usos variados da tecnologia na gestão patrimonial. O modelo substitui os métodos tradicionais em papel por um processo digital, estruturado em quatro componentes principais: o banco de dados de conteúdo, o sistema HBIM, a interface do usuário (com dispositivos móveis e visores de RV) e um servidor que conecta todas as partes. O fluxo de trabalho prevê a identificação de riscos no local por meio de dispositivos móveis (RA) pelos gestores, o envio dessas informações para o banco de dados, e a análise remota por conservadores usando (RV). Vê-se o funcionamento na figura 24.

Figura 24 - Estrutura de gerenciamento de riscos usando HBIM e xR.



Fonte: Lee et al. (2019)

Nesse sentido, o trabalho de Lee *et al.* (2019) é um bom ilustrativo de adequação das xR às intencionalidades de criação de modelo digital com fins técnicos, operacionais e estratégicos, evidenciando a potencialidade das tecnologias digitais para imersão quando integradas a metodologias sólidas de gestão e preservação do patrimônio. A proposta dos autores materializa a premissa de que as xR, longe de constituírem meros recursos de visualização ou espetáculo, podem ser instrumentalizadas como ferramentas analíticas e colaborativas, desde que ancoradas em fundamentos técnicos consistentes e em diretrizes éticas.

Pode-se observar que, no caso do trabalho de Lee *et al.* (2019), o papel do HBIM é ser essa ‘infraestrutura digital’, quase como um *backend*, para as interfaces de xR. O modelo é alimentado como um servidor que recebe informações de um local e transmite para outro. É isso que o tópico seguinte irá discutir.

### 4.3 HBIM como infraestrutura digital para xR

A grande vantagem do HBIM é a sua capacidade de integrar e processar uma vasta gama de tipos de dados. Isso inclui dados de levantamentos digitais (como *laser scanning* e fotogrametria), documentos históricos, desenhos arquitetônicos e outras fontes heterogêneas. Um modelo HBIM, especialmente se modelado com base em UEs, não é apenas geometria, mas também atributos alfanuméricos, como data de construção/modificação/restauro, fontes arquivísticas, dados de planejamento de futuras intervenções, fontes iconográficas, imagens recentes e o estado de conservação dos locais (Banfi *et al.*, 2019; Banfi, 2021; Sánchez *et al.*, 2022; Stanga *et al.*, 2023). Ele pode documentar informações temáticas como materiais, patologias de degradação, resultados de análises e diagnósticos, e intervenções anteriores. Embora a ideia de se ter um local que conecta dados com um modelo tridimensional feito com base em um levantamento a partir de tecnologias de sensoriamento remoto já seja bastante animadora, faz-se necessário também, pensar na forma de acesso a esses dados.

É aqui que entram as tecnologias de xR e ou até plataformas baseadas na web, que podem atuar como '*frontends*' que utilizam o HBIM como '*backend*'. Segundo Rajabov (2023), um sistema *backend* refere-se a qualquer estrutura ou configuração que executa e suporta aplicações nos 'bastidores' (*back-office*) corporativos. Essencialmente, são os computadores e dispositivos que os utilizadores finais não veem, pois funcionam em segundo plano, mas desempenham um papel crítico na operação de qualquer organização ou aplicação. Por outro lado, o *frontend* é a parte responsável pelos aspetos visuais e interativos da página ou aplicação para o utilizador final. É tudo o que o utilizador vê e com o qual interage, incluindo elementos gráficos, a interface de utilizador, e parte da lógica de programação que lida com a interatividade (Rajabov, 2023).

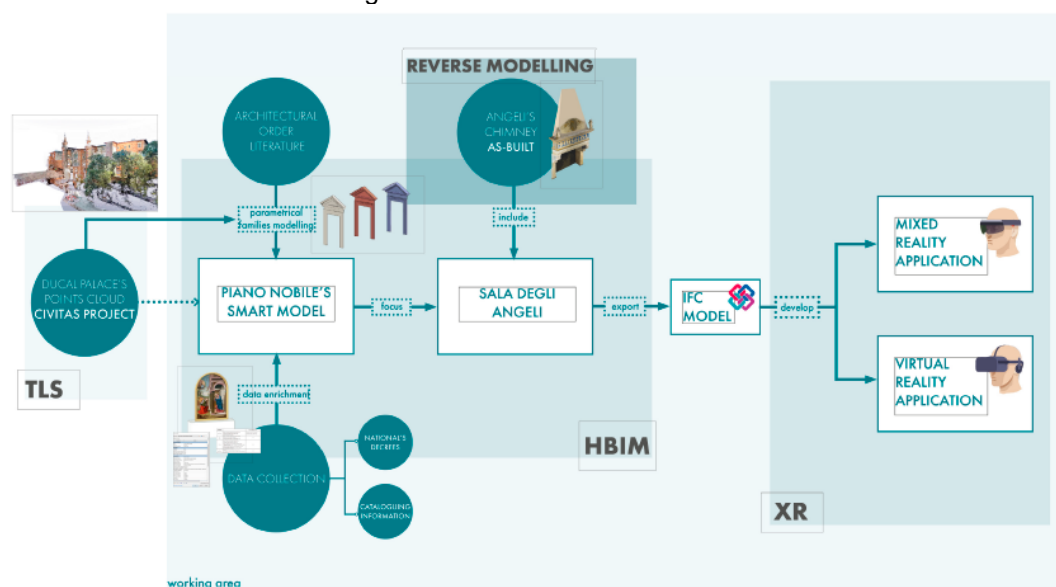
A particularidade de modelos HBIM desenvolvidos com base em UEs, ou utilizando o conceito de 'objetos HBIM granulares', reforça a sua função de *backend*. Banfi (2020) explica que esses objetos são como sub-elementos resultantes da subdivisão de elementos HBIM maiores e predeterminados, como paredes, abóbadas e coberturas. A motivação principal para essa granularidade é alcançar níveis mais elevados de LOD e LOI, que são essenciais para a compreensão e gestão do património construído, cujas características morfológicas e tipológicas são frequentemente únicas e complexas. Estes níveis de detalhe e decomposição

semântica podem ser associados a bancos de dados externos ou *common data environments*, e permitem que o HBIM funcione como o sistema de 'fonte única de verdade' para visualização e gestão.

Vários trabalhos descrevem o HBIM como uma 'plataforma', um '*framework*' ou um 'repositório' de informações, sustentando a ideia de que ele funciona como o coração do sistema digital para o patrimônio, uma **infraestrutura digital** ou **repositório central**. O trabalho de Bruno *et al.* (2022), por exemplo, apresenta o projeto VERBuM, em que um ambiente digital serve como base para integrar diferentes tecnologias e garantir a continuidade do fluxo de informações. O sistema proposto permite gerenciar tanto as fases do processo de conservação (como análise, diagnóstico e intervenção), quanto os diversos tipos de informação utilizados (documentos técnicos, normas, análises laboratoriais, imagens, entre outras.) O VERBuM é descrito como um 'arquivo digital completo', um ambiente que centraliza e organiza o conhecimento sobre o patrimônio.

Ferretti *et al.* (2022) apresentam uma metodologia de HBIM para xR, (Figura 25) onde o modelo HBIM atua como um repositório de dados dinâmico, multicamadas, interdisciplinar e compartilhado. Eles desenvolveram um modelo HBIM semântico que inclui parametrização de objetos inteligentes e um processo de enriquecimento de dados especificamente projetado para obras de arte em museus. O modelo HBIM é considerado uma base de dados adequada onde cada objeto arquitetônico inclui todas as informações em uma estrutura hierárquica. O objetivo principal é a criação de um modelo HBIM multipropósito que possa atender a diferentes abordagens, estratégias e necessidades das partes interessadas, atuando como um sistema de informação capaz de gerenciar a quantidade de dados e informações relacionadas.

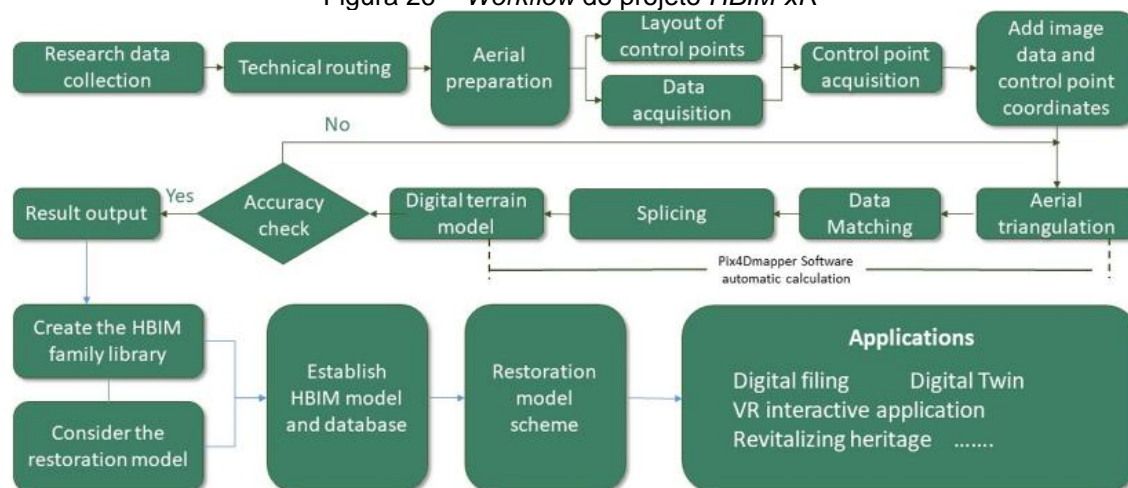
Figura 25 – Framework HBIM-xR



Fonte: Ferreti *et al.* (2022)

Lin *et al.* (2024) descrevem um framework (Figura 26) para a implementação do HBIM que integra dados descritivos e baseados na realidade para documentar o patrimônio arquitetônico. Este *framework* divide a implementação do HBIM em sete etapas, desde a coleta e processamento inicial de dados até a geração do modelo HBIM final.

Figura 26 – Workflow do projeto HBIM-xR

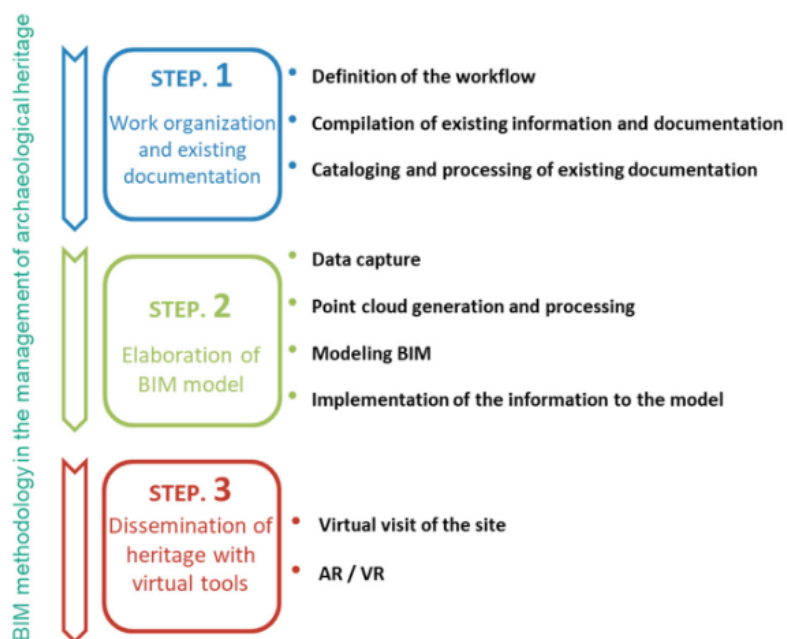


Fonte: Lin *et al.* (2024)

Sánchez *et al.* (2022) buscam estabelecer protocolos e metodologias para promover o trabalho colaborativo entre arquitetura, restauro e arqueologia através dos resultados oferecidos pelas ferramentas BIM e sua aplicação ao HBIM (Figura 27). A metodologia aplicada utiliza dados de levantamento para gerar um modelo paramétrico onde toda a informação obtida por profissionais de diferentes disciplinas

é implementada, funcionando como um meio de publicizar e disseminar o patrimônio. O objetivo é gerar uma metodologia que unifique, codifique e padronize a gestão documental e gráfica do patrimônio cultural e a torne acessível aos técnicos. Isso se traduz em um ambiente BIM colaborativo onde uma equipe multidisciplinar pode trabalhar eficazmente.

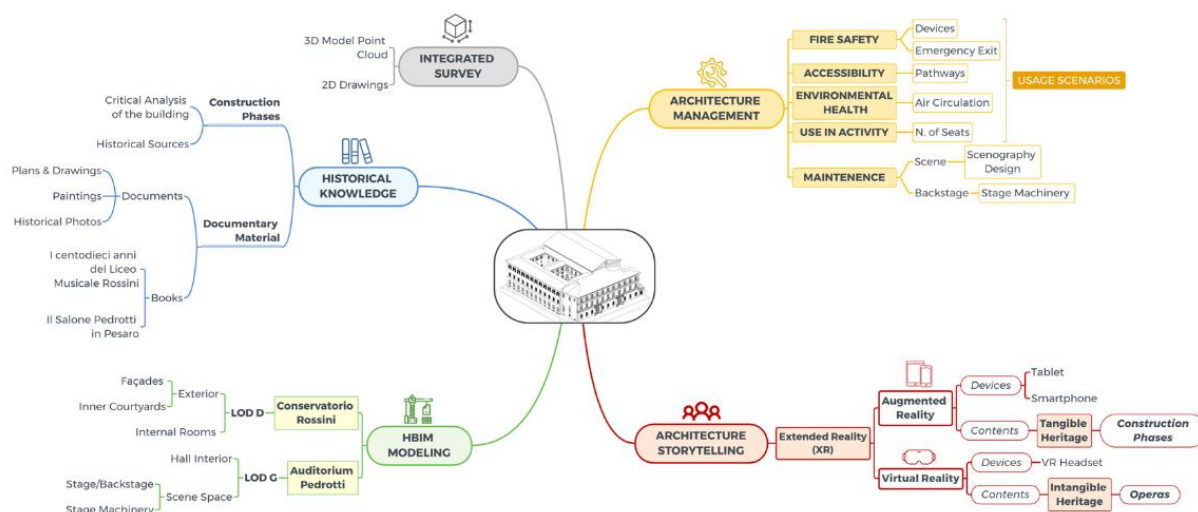
Figura 27 - Esboço da metodologia aplicada no desenvolvimento do trabalho de Sánchez *et al.* (2022)



Fonte: Sánchez *et al.* (2022)

Clini *et al.* (2023) afirmam que a criação de modelos informativos representa um investimento significativo, e a consulta das informações contidas nos bancos de dados gerados se torna um dos objetivos primários do processo de digitalização. Embora essa operação ocorra tipicamente em software profissional, formas mais amplas de consulta podem permitir um uso de 360 graus do modelo, com uma abordagem holística e sistêmica para fornecer tanto uma compreensão aprofundada da estrutura quanto uma ferramenta poderosa para engajar o público. Isso implica que o modelo HBIM atua como a plataforma base para essas diferentes formas de acesso e interação.

Figura 28 - Mapa da metodologia aplicada durante o trabalho de Clini et al., (2023)



Fonte: Clini *et al.*, (2023)

Como visto, o HBIM é comumente empregado como a ‘espinha dorsal’ de sistemas digitais aplicados ao patrimônio, funcionando como uma infraestrutura que organiza e conecta todos os dados obtidos nas diversas etapas de documentação, análise e intervenção. Nesses relatos de utilização do HBIM como *backend* o processo geralmente envolve a transferência de dados do *software* BIM (como Autodesk Revit) para plataformas de desenvolvimento de xR (como Sketchfab, Unreal Engine, Unity). Uma vez que os dados do HBIM estão na plataforma *frontend*, essas plataformas *XR/web-based*, apoiadas pelos dados do HBIM, podem ser acessadas através de uma variedade de dispositivos (PCs, *headsets* de RV, telemóveis, tablets), tornando o modelo menos complexo e mais acessível para diferentes públicos e objetivos. Entretanto, para fazer isso, algumas questões devem ser consideradas, elas serão vistas a seguir.

## 4.4 Implicações conceituais e operacionais da aplicação conjunta

### 4.4.1 Interoperabilidade

Na indústria AEC a interoperabilidade é comumente entendida como a capacidade de programas diversos utilizados na gestão de modelos arquitetônicos e construtivos serem capazes de abrir e interpretar o mesmo formato de arquivo, garantindo que todas as partes envolvidas no projeto trabalhem com as mesmas informações de maneira integrada e segura (Ferretti *et al.*, 2022). Ou seja, refere-se à capacidade de diferentes sistemas, softwares e plataformas se comunicarem e

trocarem informações de maneira eficiente e precisa, sem que ocorra perda de dados (Tini *et al.*, 2024). Em contrapartida a isso, Vizioli *et al.* (2023) desdobra a complexidade da interoperabilidade no HBIM em dimensões que transcendem a mera compatibilidade de software, englobando a uniformização de linguagem, a gestão colaborativa da informação confiável, a integração técnica de diversos fluxos de dados digitais e a democratização do acesso ao conhecimento para o público em geral.

Para tal, Vizioli *et al.* (2023) dividem a interoperabilidade em 5: a) Semântica e internacional; b) Organizacional c) Intercomunitária; d) Técnica; e e) Humana. Cada uma dessas sendo uma dimensão que permite a comunicação e o intercâmbio de informações entre sistemas, procedimentos e atores (Vizioli *et al.*, 2023). Na figura 29, observa-se um quadro-resumo que apresenta o foco de cada uma delas, seus elementos-chave e os exemplos abordados pelos autores.

Figura 29 – Quadro-resumo sobre os 5 tipos de interoperabilidade

Característica	Semântico & Internacional	Intercomunitário	Técnico	Humano	Organizacional
Foco	Padronização da linguagem	Confiabilidade dos dados	Comunicação de software	Democratização do conhecimento	Coordenação entre pessoas, processos e tecnologias.
Elementos-chave	Classificações comuns	Protocolos rigorosos	Convergência de padrões da informação.	Plataformas digitais acessíveis	Gestão do fluxo de trabalho.
Exemplos	Glossários temáticos	Modelagem geométrica	Modelos HBIM e Mesh	Tours virtuais	"Projeto de Rilievo" como plano estratégico de documentação.

Made with Napkin

Fonte: Autora, 2025 com base em Vizioli *et al.* (2023)

Em geral, os trabalhos levantados sobre interoperabilidades focam muito mais na interoperabilidade técnica, já que como posto por Banfi *et al.*, (2023), no caso do HBIM, uma das principais dificuldades no processo é a utilização simultânea de diferentes *softwares* de modelagem, o que resulta na necessidade de empregar uma variedade de formatos diferentes. Apesar disso, enquanto a interoperabilidade técnica se concentra na capacidade de diferentes sistemas (*hardware*, *software*) e formatos (*Mesh*, HBIM, IFC, etc.) de trocar dados de forma eficiente e sem perdas, o processo completo de documentação patrimonial envolve muito mais do que apenas a conversão ou a visualização de modelos digitais, faz-se necessário pensar sobre a comunicação, veracidade e organização de dados expandindo as discussões para

além do domínio técnico e passe a considerar aspectos sociais, institucionais e culturais envolvidos na produção, gestão e compartilhamento de informações no contexto do patrimônio.

Alinhado a isso, uma discussão que aprofunda o que foi posto são os conceitos de *paradata* e *metadata*. Enquanto *metadata* descreve o objeto digital (tamanho, formato), *paradata* documenta o processo e o contexto de criação desse objeto digital (Ammirati *et al.*, 2025). Mais precisamente, os metadados são informações sobre o objeto digital em si, como se fosse um ‘cartão de identificação’ ou uma ‘ficha catalográfica’ do arquivo digital. Ele descreve as características intrínsecas do ativo digital, como: Título, autor/criador (do objeto digital), data de criação ou digitalização, formato do arquivo (ex: .obj, .dxf, .ply, .ifc, .glb...), tamanho do arquivo, número de vértices, triângulos ou pontos (para modelos 3D), escala e geolocalização, entre outras. Ammirati *et al.*, (2025) aponta que principal objetivo dos metadados é facilitar a descoberta, organização, gerenciamento, acesso e recuperação dos ativos digitais, ajudando os usuários a encontrar o que procuram e a entender o que representa o arquivo digital.

Enquanto *metadata* descreve o ‘o quê’, o *paradata* descreve o ‘como’ e ‘porquê’. Ou seja, refere-se especificamente à informação sobre os processos e práticas envolvidos na criação, aquisição, manipulação, interpretação e gerenciamento do ativo digital (Ammirati *et al.*, 2025). Inclui, por exemplo, registros de: Metodologias e técnicas utilizadas (fotogrametria, *laser scanning*, modelagem procedural, softwares específicos), condições sob as quais os dados foram capturados (ambientais, iluminação, temperatura), configurações de equipamentos e softwares., decisões tomadas durante o processo (interpretação de fontes, escolhas de modelagem, manuseio de incertezas, correção de erros), pessoas ou organizações envolvidas e seus papéis, fontes de pesquisa e materiais de referência utilizados (desenhos históricos, textos, outras digitalizações), fluxos de trabalho e etapas de processamento (alinhamento, limpeza, texturização, otimização), registro de incertezas, suposições e limitações da reconstrução ou digitalização, entre outros.

Vê-se que o conceito de *paradata* é fundamental para a transparência, rigor científico, replicabilidade, reusabilidade, e para avaliar a confiabilidade e autenticidade das representações digitais (Ammirati *et al.*, 2025). Ele permite que outros compreendam como e por que um ativo digital foi criado daquela maneira específica, essencial para estudos futuros, conservação ou mesmo reinterpretações, sendo

crucial para a transparência, a credibilidade científica, a replicabilidade e a reusabilidade dos modelos digitais. Isto posto, diante da complexidade envolvida nas diferentes dimensões da interoperabilidade, opta-se por aprofundar, a partir deste ponto, nas discussões em torno da interoperabilidade técnica, especialmente por seu destaque nos estudos que tratam da aplicação do HBIM-xR. Saliento que embora este trecho esteja concentrado nesta discussão, a dissertação como um todo contempla outras camadas de interoperabilidade e de *paradata*, seja nas discussões que se antecederam onde foi apresentada uma metodologia de modelagem a partir de UE, seja nas que sucederão relacionadas às aplicações específicas no estudo de caso do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto.

#### **4.4.2 Interoperabilidade técnica**

Entre os diversos desafios associados à adoção do HBIM-xR, a interoperabilidade técnica desponta como uma questão central. A complexidade inerente aos processos de modelagem e visualização de edificações com valor patrimonial, que envolvem diferentes disciplinas, softwares e formatos de dados, exige uma articulação precisa entre ferramentas digitais, sob o risco de perda de informações relevantes. Esse risco é potencializado quando formatos e softwares não são utilizados de maneira adequada, o que pode resultar tanto em obsolescência quanto em incompatibilidades que comprometem a integridade dos dados geométricos e informacionais (Banfi et al., 2023). Se um software, por exemplo, for descontinuado ou modificar seu formato nativo, profissionais podem perder o acesso a dados essenciais, sendo forçados a realizar conversões que geram retrabalho e impactam a eficiência da gestão.

Essa questão se agrava em contextos colaborativos, como na gestão do patrimônio edificado, em que diferentes profissionais, tanto do setor AEC quanto de áreas afins que não dominam ferramentas BIM, precisam acessar, interpretar e utilizar os dados do modelo. A interoperabilidade, nesse caso, não apenas viabiliza a comunicação entre softwares, mas também garante que os modelos permaneçam acessíveis e funcionais ao longo do tempo e entre distintas plataformas. Para solucionar esse problema, criou-se o IFC (*Industry Foundation Classes*), que é um formato de dados BIM de 'ciclo de vida aberto', que conta com amplo apoio de grandes marcas de software, incluindo Autodesk, Graphisoft e Bentley e que permite que as informações do BIM sejam compartilhadas de maneira consistente,

independentemente dos dispositivos ou programas utilizados (Banfi *et al.*, 2023; Banfi, 2021; Banfi *et al.*, 2019). Segundo Banfi *et al.* (2023), essa ênfase na interoperabilidade levou até mesmo governos inteiros, como os da Dinamarca, Finlândia e Noruega, a exigir o uso de formatos IFC em todos os projetos. Tal decisão é positiva no sentido de permitir que diferentes partes envolvidas no projeto, como arquitetos, engenheiros e gestores de construção, possam colaborar de forma eficaz, reduzindo erros e otimizando processos.

No Brasil, a utilização de BIM é estabelecida por legislação, sendo obrigatória para os órgãos e entidades da administração pública federal. O Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020, institui o uso do BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* (Estratégia BIM BR) (BRASIL, 2024). Além disso, a Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021 (Lei de Licitações e Contratos Administrativos), complementa ao dispor que, nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, a modelagem BIM ou tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham a substituí-la será preferencialmente adotada sempre que for adequado ao objeto da licitação (BRASIL, 2021). No contexto da Estratégia BIM BR, instituída pelo decreto nº 10.306, um dos objetivos postos é "estimular o uso de especificações técnicas abertas para a interoperabilidade em BIM". Uma das ações propostas para atingir esse objetivo é "apoiar e disseminar o uso de software livre e visualizadores gratuitos, por meio de ferramentas de visualização e edição nativa de modelos BIM em IFC" (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS, 2024, p.24). Isso reforça o reconhecimento e o incentivo ao uso do IFC como pilar para a interoperabilidade no cenário brasileiro.

No estudo de Banfi *et al.* (2023), são analisadas as limitações decorrentes das diferenças entre os diversos softwares utilizados no contexto do HBIM-xR. Em muitos casos, mesmo quando se trabalha com os mesmos dados de entrada, como nuvens de pontos, esses softwares podem gerar saídas diferentes, o que pode impactar a precisão e a qualidade dos modelos. Nesse sentido, os autores desenvolvem uma tabela comparativa (tabela 04) que destaca os diferentes formatos ao longo do fluxo metodológico, detalhando cada etapa do processo. Entre as saídas analisadas, estão:

Tabela 4 - Etapas e saídas do HBIM x formatos comumente utilizados

Saídas	Formatos
Saída do <i>scanner a laser</i>	las, e57, pts;
Saída da fotogrametria	pts, jpg, png;
Saída do AutoCAD e Recap Pro	dxg, dwg, rcs, rcp;
Saída de modelagem NURBS	3dm, dwg (schema de sólidos 2007), ACISsat;
Saída HBIM	rvt, ifc, excel, ODBC e fbx;
Saídas XR	web-RV, aplicativos RV-RA para desktop e mobile, imagens e renderizações, vídeos e animações, panoramas de 360° e RV, arquivos executáveis independentes, experiências interativas, diagramas de fluxo e plantas baixas, gravação de ações e animações, exportação em formatos padrão (FBX e OBJ), materiais e texturas personalizados, luzes e ambientes de iluminação.

Fonte: Banfi *et al.* (2023), adaptado pela autora, 2024

Tal sistematização evidencia que um dos maiores desafios a serem enfrentados em relação ao desenvolvimento de um modelo HBIM com aplicação em xR seria a interoperabilidade entre softwares, já que o processo metodológico envolve muitos formatos e etapas diferentes.

Osello *et al.* (2019), abordam a questão da interoperabilidade durante a fase voltada para a manutenção de sistemas em edifícios históricos. Eles apontam que nos edifícios históricos, manter o equilíbrio entre os sistemas de manutenção (como sistemas elétricos, hidráulicos, climatização etc.) e os aspectos arquitetônicos é mais complicado devido às restrições impostas pela preservação da arquitetura original. No estudo de caso apresentado por Osello *et al.* (2019), de um Castelo na região do Piemonte (Itália), os autores abordaram o desafio de integrar os sistemas tecnológicos de manutenção no local, apontando a complexidade relacionada aos espaços disponíveis para a instalação de equipamentos técnicos limitados, com áreas restritas como sótãos e porões sendo utilizadas para abrigar esses sistemas. Nesse contexto, a interoperabilidade entre o modelo *as-built* do estudo de caso e o software de gestão de manutenção foi essencial para garantir que os dados geométricos e alfanuméricos dos sistemas fossem devidamente integrados e atualizados, mantendo as propriedades paramétricas, visualizando as representações tridimensionais e atualizando automaticamente as alterações feitas no modelo.

Em outro exemplo, Banfi (2020), no estudo de caso da antiga vila de Bajardo, Itália, o processo de HBIM para RV baseou-se na geração de modelos complexos no software Rhinoceros, posteriormente convertidos em objetos HBIM 'granulares' no

Autodesk Revit. Através de testes de conversão, o *Unreal Engine* foi escolhido como plataforma de desenvolvimento do ambiente digital. Graças aos altos níveis de interoperabilidade entre *Rhinoceros 6.0*, *Revit 2020* e *Unreal Engine 4*, foi possível manter os três ambientes digitais alinhados, evitando a necessidade de transformações espaciais e permitindo a atualização contínua dos modelos conforme as demandas do projeto. Tal procedimento foi essencial para a transferência das fases históricas do modelo HBIM para o *Unreal Engine*. Percebe-se, mais uma vez, a importância da interoperabilidade. Já Banfi *et al.* (2022) ressaltam que a exportação do projeto HBIM no formato IFC aberto e o posterior *upload* do arquivo para uma plataforma em nuvem evitou a perda das informações anteriormente incluídas no arquivo 3D e favoreceu a leitura de usuários não especialistas de modelos em BIM. Além disso, permitiu que o usuário pudesse selecionar o objeto BIM e ler todos os parâmetros e informações (previamente inseridos no *Autodesk Revit*) através de uma interface amigável.

O uso de *softwares* e *plug-ins* é essencial nesta discussão. Isso fica evidente quando é analisado, por exemplo, o método utilizado para exportar um modelo BIM criado no *Revit* para interação em RV nos estudos de Osello *et al.* (2019), que seguiu os seguintes passos: primeiro, o modelo foi exportado do *Revit* para o formato *.fbx*, mas, para preservar informações essenciais, os autores decidiram passar o arquivo pelo *Autodesk 3ds Max*, importando-o usando o comando '*Link*', que mantém uma conexão com o arquivo original do *Revit*, organizando as partes do modelo em 'Tipos de Família' para facilitar a aplicação de materiais. Em seguida, o arquivo foi exportado novamente como *.fbx* e importado no Unity 3D, onde a propriedade '*Generate Colliders*' foi configurada para permitir interações realistas entre o usuário e os objetos na simulação de RV. Em seguida, *scripts* adicionam dados exibidos via interface do usuário, com funcionalidades ativadas ao interagir com objetos invisíveis no ambiente. Em testes de RA, o modelo do *Revit* é simplificado no *3ds Max*, importado no *Cinema 4D*, e exportado como *.armedia*, permitindo a navegação no local real e visualização por meio de aplicativo móvel. O *software 3ds Max* nesses casos, funciona como um conversor que garante melhor interoperabilidade entre os sistemas utilizados.

Para solucionar os problemas de interoperabilidade no HBIM, é imprescindível o avanço no desenvolvimento e estudo dessas plataformas, visando abordar as limitações persistentes. A ausência de uniformidade entre os dados gerados por diferentes softwares e a necessidade de conversões manuais, uso de *plug-ins* e

múltiplas ferramentas resultam em perda de informações e retrabalho, comprometendo a qualidade dos modelos. Esses fatores podem reduzir a eficácia das tecnologias aplicadas à salvaguarda patrimonial, desestimulando gestores e profissionais quanto ao investimento em sua implementação. A superação dessas barreiras exige, além de avanços tecnológicos e adoção de formatos abertos, políticas que promovam a interoperabilidade e a gestão eficaz de dados, assegurando uma preservação colaborativa e facilitada.

Ao passo que a interoperabilidade lida com os caminhos possíveis para circulação e uso dos dados digitais, é necessário agora avançar a discussão sobre a própria estrutura interna desses modelos: o que se decide representar, com que grau de detalhe e com quais níveis de informação. Esses aspectos são regidos por classificações como LOD, LOI, GOA, entre outras, que impactam diretamente nas decisões de modelagem, nos usos possíveis dos modelos e na confiabilidade das representações.

#### **4.4.3 Complexidade do modelo, uma ideia variável?**

A complexidade dos modelos digitais deve ser cuidadosamente considerada. A precisão e a exatidão na aquisição de dados, bem como a qualidade do processamento e da modelagem, são fundamentais para garantir que os resultados atendam às necessidades de documentação e conservação do patrimônio (Banfi *et al.*, 2022). Embora a simplificação dos modelos 3D possa ser uma estratégia válida para gerenciar a complexidade, essa abordagem não deve comprometer a quantidade de informação e o conhecimento que se busca preservar e transmitir e a simplificação excessiva pode levar a uma perda significativa de informações cruciais para a compreensão e gestão do patrimônio. Para que os modelos digitais sejam verdadeiramente eficazes, é necessário um equilíbrio entre a complexidade e a funcionalidade, permitindo que os modelos sejam adaptáveis às diferentes necessidades (Osello *et al.*, 2018; Banfi *et al.*, 2022).

Nesse sentido, Osello *et al.* (2018) defendem a criação de um modelo HBIM em que os elementos arquitetônicos são simplificados, mas garantindo a precisão dos valores relacionados à gestão do espaço e à conservação dos componentes. Os autores apontam a possibilidade de criar modelos com LODs variáveis conforme as informações desejadas, enfatizando que não é necessário buscar a maior precisão em todos os processos. Essa abordagem permite que o modelo atenda às

necessidades específicas da operação e manutenção da edificação, priorizando a funcionalidade sobre a complexidade excessiva. Por exemplo, no caso do castelo estudado por Osello *et al.* (2018), diferentes LODs foram aplicados em várias partes do modelo: elementos arquitetônicos e os objetos de MEP (*Mechanical, Electrical, and Plumbing*) foram modelados com LODs distintos, dependendo do nível de detalhe necessário para cada componente.

Alternativamente, Gharib e Aboushal (2020) apontam que, “conforme indicado na documentação de registro e gestão da informação para a conservação de locais históricos, existem três níveis principais de detalhamento para a documentação do patrimônio: registro inicial/reconhecimento, registro preliminar e registro detalhado” (Gharib e Aboushal., 2020, p. 21). Os autores utilizam tal argumento para justificar que o modelo digital proposto em seu estudo de caso, denominado Virtual Tours and Informational Modeling (VT/IM), se enquadra na categoria de 'registro inicial' e não deve ser utilizado para registros detalhados. Essa categorização sugere que o VT/IM é mais adequado para uma abordagem preliminar, onde a intenção é capturar e documentar informações essenciais sem a necessidade de um nível de detalhe que poderia ser excessivo e oneroso.

Deve-se estar ciente, nesta discussão, de que o processo de mapeamento dos objetos HBIM a partir da nuvem de pontos está sujeito a avaliações subjetivas, o que pode comprometer a repetibilidade do procedimento. Isso implica que diferentes indivíduos podem interpretar e modelar os mesmos dados de formas variadas, resultando em inconsistências (Xi *et al.*, 2022). No entanto, cabe ressaltar que a simplificação de modelos e o emprego de níveis variáveis de detalhamento devem observar a finalidade a que se destinam, em especial quando aplicados à documentação de bens patrimoniais. A adequação do grau de precisão e a escolha das técnicas de modelagem a serem empregadas devem assegurar que a simplificação ou a redução do nível de detalhamento não comprometam a integridade da documentação necessária à preservação e à gestão do patrimônio cultural.

Tal conduta pode garantir que eventuais perdas de informações decorrentes de simplificações excessivas não configurem omissões técnicas e resultem em uma distorção ou alteração significativa da autenticidade do bem digitalmente reconstruído, o que Cesare Brandi denomina 'falso histórico', uma representação que, embora aparente fidelidade, introduz elementos alheios ao contexto original, traindo o valor histórico e estético da obra (Kühl, 2007). Assim, a responsabilidade técnica na

modelagem digital deve ir além da precisão geométrica, garantindo que simplificações não resultem em omissões que comprometam a autenticidade do bem reconstruído. Essa preocupação não se limita a erros técnicos, mas envolve o risco de produzir uma versão anacrônica ou infundada do patrimônio, prejudicando sua compreensão e interpretação. Por isso, a modelagem digital deve ser conduzida com cautela, assegurando a integridade histórica e evitando distorções que configurem uma realidade alternativa.

#### 4.5 Comunicação e construção de narrativas xRs

Retomando a ideia de interoperabilidade não apenas técnica, mas com preocupações também organizacionais e comunicacionais, neste momento o foco de discussão será a transparência da comunicação e a construção das narrativas, em como a organização de informações e como ela chega ao usuário. Para Banfi *et al.* (2023), a transparência envolve a comunicação clara não apenas das fontes utilizadas e dos métodos de aquisição (levantamento 3D, análise documental, entre outros), mas também do processo de raciocínio e interpretação que levou a um determinado resultado. Para que um modelo HBIM complexo, enriquecido com *metadados* e *paradata*, seja efetivamente uma plataforma de diálogo e construção coletiva, ele precisa ser navegável, compreensível e interativo para seus diferentes usuários, é essa a ideia de *frontend* apontada no tópico 4.2 desta dissertação, uma interface interativa e mais intuitiva para o usuário final.

O desenvolvimento de interfaces intuitivas, o acesso através de múltiplos dispositivos (PCs, *tablets*, *smartphones*, *headsets* RV/RA) e a utilização de linguagens de programação visual são estratégias comumente exploradas para tornar esses ambientes digitais mais amigáveis e eficazes na comunicação e compartilhamento de conhecimento. A possibilidade de adicionar anotações colaborativas diretamente no modelo digital exemplifica como a interface pode facilitar a construção coletiva do conhecimento sobre o artefato. Nesse contexto, a aplicação de tecnologias digitais no patrimônio, aliada a um modelo narrativo que respeita os princípios comunicativos é fundamental para transmitir e preservar a riqueza do patrimonial de forma acessível e envolvente.

Por esse motivo, o conceito de *storytelling* pode ser útil nessa discussão. *Storytelling* pode ser visto como uma técnica interpretativa que busca comunicar valor, cultivar experiências com ressonância emocional, incentivar empatia e despertar a

atenção e a construção de significado no usuário (Roussou *et al.* 2018). No contexto de ambientes digitais e patrimônio cultural, especialmente para modelos HBIM complexos e plataformas de informação similares, o *storytelling* é utilizado para tornar o conteúdo mais informativo, emocionalmente ressonante, memorável e atraente (Yang, 2023). Em ambientes digitais interativos de imersão como os construídos com RA, ele aprimora a experiência do usuário por meio de estimulação multissensorial, realismo, interatividade e imersão, auxiliando na presença do usuário no ambiente digital (Yang, 2023).

Diferente de métodos de comunicação tradicionais, que podem ser unidirecionais, o *storytelling* (especialmente em suas formas interativas) permite uma comunicação de ‘mão dupla’ e a participação ativa do usuário, transformando-o de um mero observador passivo em um participante engajado, dada a sua disponibilidade para tal (Yang, 2023). Ao facilitar a transição entre espaços digitais e reais, o *storytelling* pode enriquecer a experiência interativa e aumentar o engajamento do usuário com o conteúdo, contribuindo para uma experiência de usuário positiva, oferecendo absorção, entretenimento, desafios e recompensas que levam a um estado elevado de envolvimento e, conseqüentemente, a um alto engajamento (Yang, 2023).

No *design* de experiência do usuário (UX), o *storytelling* é uma ferramenta que ajuda a capturar e a comunicar aspectos experienciais e afetivos não tangíveis da interação tornando-os mais descritíveis e passíveis de serem reforçados na implementação do produto (Michailidou *et al.*, 2013). Ao conectar ilustrações simbólicas através de narrativas vibrantes, o *storytelling* pode equilibrar as qualidades imersivas do intangível com a interpretação do tangível, transmitindo informações complexas de forma interessante e envolvente, transformando a entrega de informação que poderia ser simplista em uma experiência mais envolvente que facilita a compreensão do usuário quanto ao que se deseja informar.

Para Banfi *et al.*, (2023) o cerne do *storytelling* (ou da narrativa), reside na capacidade de combinar diversas fontes de informação (arquivos históricos, desenhos, levantamentos a laser, VANTS/drones, modelos 3D) e transformá-las em uma narrativa coesa. Não se trata apenas de digitalizar, mas de ‘narrar a história de uma arquitetura’ através da união de diferentes representações. Essa narrativa deve ser dinâmica e capaz de apresentar a evolução e as transformações do patrimônio ao longo do tempo. Nesse sentido, Banfi *et al.*, (2023) propôs um modelo de *storytelling*

segue as cinco regras básicas para criar uma narrativa que comunique de maneira eficaz: respeitar os '5W' do jornalismo, que envolvem a construção de uma história linear e envolvente capaz de esclarecer quem é o protagonista, o que acontece, onde e quando se passa a história (*what, who, when, where, why*) e, por fim, abordar explicitamente o motivo pelo qual a história foi criada, explicando os fatores que motivam a sequência dos eventos narrados (Banfi *et al.*, 2023).

Ao propor uma sistematização que visa melhor gestão de riscos em edificações patrimoniais, Lee *et al.* (2019), assim como Banfi *et al.*, (2023), também utiliza o storytelling e propõem uma estrutura baseada no modelo 5W1H (*what, who, when, where, why, how*). Para Lee *et al.* (2019), o objetivo principal é promover a conscientização contextual da edificação, facilitando o compartilhamento e a recuperação eficiente de informações para decisões de risco. Eles empregam o HBIM como a plataforma base para o armazenamento de dados geométricos e paramétricos do patrimônio, enquanto a xR atua como a interface de imersão e interação para a visualização contextualizada desses dados de risco. Tanto Lee *et al.* (2019) quanto Banfi *et al.* (2023) abordam a importância de uma estrutura clara e organizada para a comunicação de informações. No caso de Lee *et al.* (2019), essa estrutura é aplicada à gestão de riscos e à tomada de decisões contextualizadas, enquanto Banfi *et al.* (2023) o utilizam como base para a criação de narrativas digitais imersivas e acessíveis do patrimônio cultural.

Quando se pensa em associação de xR a modelos HBIM metodologicamente construídos com base em UEs, faz-se necessário discutir a comunicabilidade das informações, visto que a simples representação geométrica de objetos patrimoniais não garante, por si só, uma comunicação significativa com o público. Conforme argumenta Ingold (2007), ao priorizar o conceito 'abstrato' de materialidade, corre-se o risco de apagar as histórias e propriedades vivas dos próprios materiais que compõem os objetos. No contexto das xRs aplicadas ao patrimônio, essa crítica é especialmente relevante: 'narrar' uma edificação não é apenas reproduzir sua aparência formal, mas também comunicar os fluxos de transformação dos materiais, suas relações com o tempo, o ambiente, e as práticas humanas que os atravessam.

Visto que a usabilidade e a arquitetura informacional de tais interfaces não são meros detalhes técnicos, mas sim elementos constitutivos da própria narrativa patrimonial, a interface hipermídia aplicada ao patrimônio emerge como um instrumento de grande potencial. A hipermídia, em sua conceituação seminal,

representa um sistema de informações interligadas que permite a navegação não linear por um universo de conteúdo multimídia como texto, imagem, áudio, vídeo, modelos 3D, de forma interativa (Schwengber, 2011; Amorim, 2008). Goulart e Perazzo (2015), ao explorarem a convergência da hipermídia com a memória, apontam que, em contraste com a linearidade imposta por mídias tradicionais, a hipermídia oferece uma estrutura informacional ramificada, onde o usuário, dotado de autonomia, pode forjar sua própria jornada de descoberta, mergulhando nas camadas de significado e nas múltiplas narrativas que constituem um bem cultural. Nesse mesmo sentido, Candello (2013), ao investigar recomendações para o design de textos e hiperlinks em aplicativos móveis culturais, sublinha a importância de uma interface otimizada para a experiência do usuário, reconhecendo que a qualidade da interação digital é um fator determinante para a eficácia da comunicação cultural.

Ademais, a incorporação de tecnologias xR eleva o potencial da hipermídia a um novo patamar de imersão e interatividade, já que ela possui uma estrutura de nós e links que formam redes de informação, permitindo inúmeras leituras diferentes e caminhos disponíveis, o que fornece autonomia ao usuário na navegação (Goulart e Perazzo, 2015). A possibilidade de sobreposição de camadas informacionais digitais ao mundo físico, ou de navegação por uma edificação histórica reconstruída digitalmente, acessando simultaneamente informações diversas, promove uma comunicação mais significativa. Essa abordagem rompe com a ênfase na forma final e estática dos objetos, permitindo leituras processuais e relacionais. Assim, como apontado por Ingold (2007), que se opõe à 'simples representação geométrica' por reduzir os artefatos à imposição de formas mentais sobre matéria inerte, ignorando os fluxos, transformações e histórias materiais que constituem as coisas ao longo do tempo.

Retomando essa ideia rapidamente, a modelagem HBIM a partir de UEs, por exemplo, permite uma leitura precisa da edificação como um conjunto de camadas materiais historicamente sobrepostas. Mesmo com a 'materialidade como fonte principal' (Boato, 2010), faz-se necessário que essa 'matéria' seja compreendida em sua dinamicidade e em suas múltiplas camadas de existência, e não apenas como um objeto estático. São objetos em que a materialidade constantemente segue se misturando, reagindo e até se 'desmaterializando', como aponta Ingold (2007). Nesse ponto, falar sobre as interfaces digitais por meio de hipermídia é potente nesse contexto, já que, assim como cada UE revela uma fase construtiva ou transformações

no edifício, cada camada de informação vinculada na interface, por meio de hiperlinks, anotações ou elementos interativos, amplia a leitura do objeto patrimonial, sem apagar suas complexidades. A ideia com mais repercussão nesse sentido é que essa plataforma digital seja passível de atualização.

A própria teoria do restauro preconiza que a cada vez que se faça uma obra de intervenção, se documente aquilo que foi realizado (Gomide *et al.*, 2005). Assim, é possível criar uma fonte de dados que de fato se atualiza temporalmente, assim como a materialidade. No caso do trabalho de Lee *et al.*, (2019) por exemplo, os gestores em campo que através da RA conseguiam abrir um modelo digital da edificação, também podiam atualizar informações em tempo real a respeito dela. (Figura 30)

Figura 30 – Profissional em campo utilizando método baseado em papel (esquerda), método baseado em RV (à direita).



Fonte: Lee *et al.* (2019)

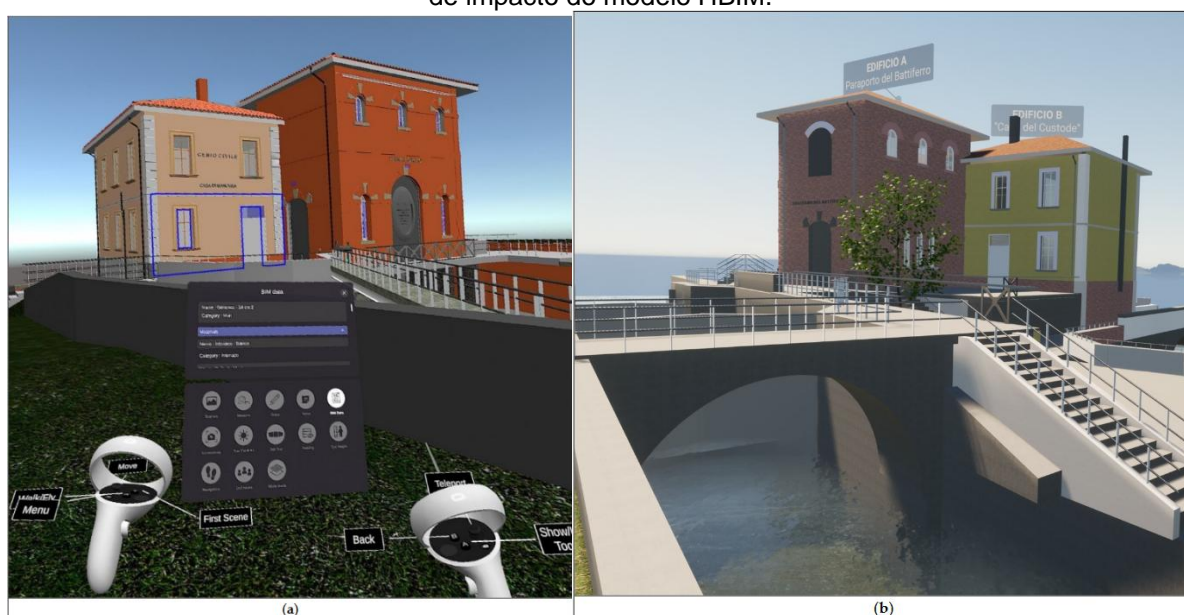
A articulação entre essas duas lógicas de organização (a material e a digital) não é apenas metafórica, já que ambas operam por sobreposição, conexão e interpretação contextual. Nesse sentido, a seguir, apresentarei alguns usos de xR e HBIM que ajudem a ilustrar tal relação.

#### 4.6 Documentação interativa e hipermídia aplicada

Tini *et al.* (2024), aplica um *workflow Scan-to-HBIM* no Sostegno del Battiferro, em Bolonha (Itália), uma obra hidráulica de patrimônio industrial. Começando com um levantamento geomático integrado, resultando em uma nuvem de pontos, procedeu-

se à modelagem paramétrica foram testadas duas abordagens de HBIM-to-xR: uma plataforma (*SentioVR*) focada em funcionalidades BIM (medições, notas, etc.) para público técnico, e um software de renderização (*Twinmotion*) para alta qualidade visual, animações e anotações textuais, visando disseminação cultural. A integração com GIS também foi considerada.

Figura 31 - Comparação entre as plataformas de navegação RV testadas: (a) a plataforma técnica, permitindo ao usuário selecionar elementos e visualizar os dados BIM associados a eles; (b) A plataforma de renderização, oferecendo uma representação digital realista e de impacto do modelo HBIM.



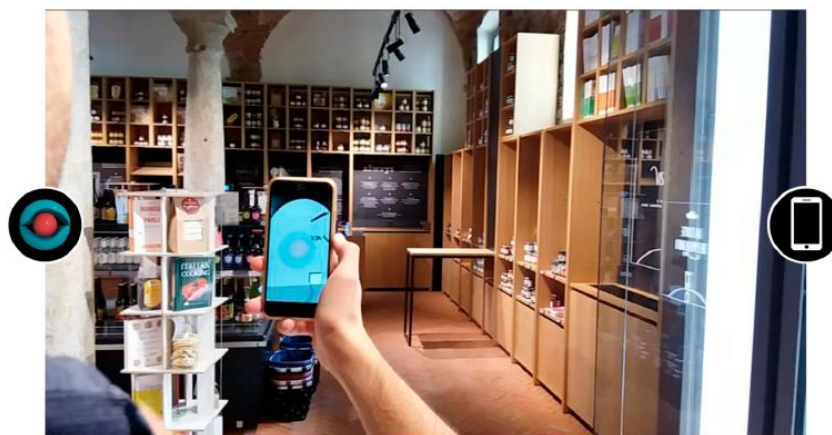
Fonte: Tini et al. (2024)

Osello *et al.*, (2018), em contrapartida, teve como foco otimizar e acelerar as práticas de conservação e o processo de recuperação, especialmente em emergências. A xR, nesse caso, foi usada para otimizar a comunicação de dados para diferentes tipos de usuários e contextos, facilitando a localização precisa de sistemas dentro do edifício e o gerenciamento de manutenção. A RA, em particular, foi importante por permitir sobrepor informações digitais ao mundo físico para conservação. O projeto baseou-se na criação de um modelo HBIM a partir de dados de levantamento (nuvem de pontos, imagens estereoscópicas) e desenhos CAD existentes. O modelo foi parametrizado com LODs específicos para a fase de Operação e Manutenção. Para a RV, o modelo HBIM foi exportado em formato .fbx e importado em software RV (*Unity 3D*), utilizando *headsets* como *Oculus Rift* e *HTC Vive*. Para a RA, o modelo foi exportado e processado (ex: em *Cinema 4D* com *plugin RA-media*), georreferenciado com as coordenadas do castelo, permitindo a

visualização via aplicativo mobile.

A principal funcionalidade testada para a RA, neste caso, reside na sua capacidade de acrescentar informação digital ao mundo físico. Isso se manifesta na possibilidade de localizar componentes de sistemas que, no ambiente construído, estariam escondidos por trás de mobiliário ou barreiras arquitetônicas dentro de um compartimento do castelo (Figura 32). Edifícios históricos, devido à sua complexidade construtiva e às restrições inerentes à sua preservação, frequentemente apresentam sistemas (como instalações mecânicas, elétricas e hidráulicas - MEP) integrados de forma a respeitar a estrutura existente, muitas vezes localizados em espaços menos visíveis como sótãos, porões ou áreas sem valor arquitetônico proeminente (Osello *et al.*, 2018).

Figura 32 - Sistema de visualização com RA dos sistemas integrados da edificação



Fonte: Osello *et al.*, (2018)

No caso de Banfi *et al.* (2022), o estudo de caso se origina da necessidade de subsidiar um projeto preliminar de conservação da Igreja de San Francesco, danificada por um terremoto em 2016 e por uma nevasca em 2017. A complexidade do edifício, com sua história estratificada e múltiplas fases construtivas, impôs a necessidade de uma documentação e análise aprofundadas que ultrapassassem os métodos tradicionais. O desenvolvimento das aplicações de XR neste estudo iniciou-se com uma campanha de levantamento digital detalhado. A partir da nuvem de pontos e dos dados levantados, procedeu-se ao processo *Scan-to-HBIM*. A Arqueologia da Construção foi integrada ao modelo HBIM, focando na 'estratigrafia volumétrica 3D'. A base de dados de estratigrafia volumétrica 3D foi estruturada para coletar dados em três níveis: coleta de dados de fontes diretas (observação in loco), documentação de dados indiretos (documentos históricos, etc.), e a relação entre os

elementos do objeto BIM. O mapeamento de materiais também foi adicionado a esta estratigrafia volumétrica 3D, com propriedades associadas a cada UE.

Um aspecto crucial do fluxo de trabalho foi a gestão da informação em um ambiente compartilhado. Foi configurado um ambiente comum de dados para compartilhar os modelos informativos volumétricos 3D e toda a informação compilada. Isso facilitou a comunicação entre as diversas disciplinas envolvidas no processo de conservação. Finalmente, o modelo HBIM e as informações associadas serviram de base para o desenvolvimento das aplicações de xR. O desenvolvimento dessas aplicações, especialmente em plataformas como *Unreal Engine*, buscou aumentar a interatividade e o valor informativo do modelo, utilizando o conceito de *Virtual-Visual Storytelling*, que permitiu narrar a história e as transformações do edifício ao longo do tempo, muitas vezes através de documentação time-lapse (Figura 33). A experiência do usuário nas aplicações de xR para a Igreja de San Francesco é projetada para diferentes públicos, desde especialistas a turistas virtuais. Os usuários podem visualizar a estratigrafia volumétrica 3D, permitindo a compreensão das diferentes camadas construtivas, materiais e técnicas. As informações sobre patologias e o estado de conservação, coletadas a partir de relatórios existentes, também podem ser integradas e visualizadas.

Figura 33 - Projeto de RA desenvolvido para a Igreja de São Francisco: o *tour* digital com *storytelling* permite que os usuários descubram valores tangíveis e intangíveis do edifício por meio de objetos virtuais interativos e *time lapse*.



Fonte: Banfi *et al.* (2022)

Banfi *et al.* (2022) destacam, a partir destes modelos, potencialidades como realizar análises sincrônicas e diacrônicas, comparando formas de intervenções comuns, visualizando transformações ao longo do tempo e vinculando-as

temporalmente. Também destacam a possibilidade da reconstrução digital de porções ausentes para fins de comunicação, conhecimento e simulação estrutural, usando plataformas digitais de imersão. Essas potencialidades tecnológicas têm o mérito de reconfigurar significativamente as práticas de preservação, interpretação e mediação no campo do patrimônio cultural e da arqueologia, ampliando os meios disponíveis para compreender e representar a complexidade dos bens históricos.

No caso do estudo de caso de Stanga *et al.*, (2023), o Aqueduto Claudius Anio Novus, no Parque Tor Fiscale, em Roma, na Itália, a arqueologia da construção foi fundamental para compreender as diferentes fases construtivas e intervenções no monumento. Através, também, de análises estratigráficas preliminares, baseadas em observação do levantamento digital e fontes históricas, foi possível identificar unidades construtivas distintas, associadas a técnicas e materiais específicos. Esses dados foram integrados a um modelo HBIM que permitiu representar tridimensionalmente tanto a geometria quanto as informações históricas, materiais e de conservação. Serviu também como suporte dinâmico para o planejamento de conservação, simulações em RA e RV, compartilhamento colaborativo de informações e para interpretação de modelos semânticos facilitada por plataformas baseadas na web (Figura 34).

Figura 34 - Reproduções morfológicas tridimensionais de técnicas de construção facilitam a comunicação de aspectos funcionais e formais, permitindo aos observadores interpretar as unidades estratigráficas detectadas.

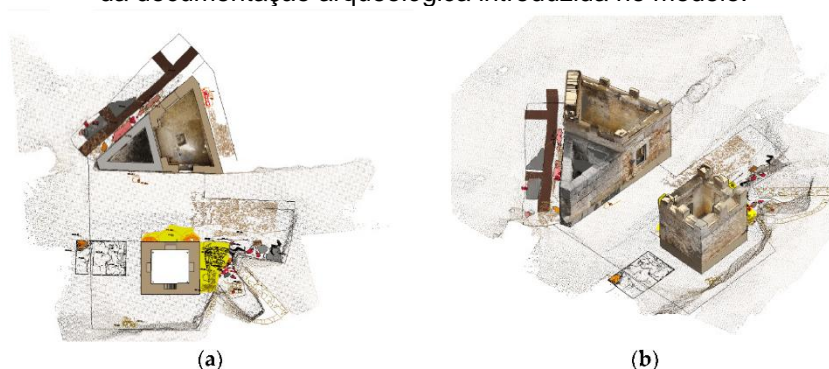


Fonte: Stanga *et al.* (2023)

Já Sánchez *et al.* (2022) enfatizam a importância de uma documentação arqueológica precisa para compreender as relações espaço-temporais dos vestígios

encontrados. Quando alinham o HBIM às xR a proposta foi empregar plataformas como *Sketchfab*<sup>14</sup> e óculos RV *Oculus Rift S* para a visualização e disseminação do patrimônio, visando superar as barreiras de acessibilidade física ao local, que apresenta terreno irregular e inclinação. Na figura 35 é possível observar a navegação no *Sketchfab* com a documentação arqueológica inserida no modelo e na figura 36, observar a navegação clicável pelo celular em que cada número corresponde a uma informação do local, ou seja, utilizam hipermídias alinhadas ao modelo 3D.

Figura 35: Plantas com a documentação extraída de antigas escavações arqueológicas. ( a ) Vista superior da documentação arqueológica introduzida no modelo. ( b ) Vista em perspectiva da documentação arqueológica introduzida no modelo.



Fonte: Sánchez et al. (2022)

Figura 36: Visita digital ao monumento Columbários de Merida acessado via RA através de celular, utilizando a aplicação *sketchpad*, produto do trabalho de Sánchez et al. (2022).



Fonte: Autora, 2025 | Link de acesso ao modelo:

[https://sketchfab.com/models/e4979889cf4a4c4b92878efdd6a9faa4/embed?autostart=1&internal=1&racking=0&ui\\_ar=0&ui\\_infos=0&ui\\_snapshots=1&ui\\_stop=0&ui\\_theatre=1&ui\\_watermark=0](https://sketchfab.com/models/e4979889cf4a4c4b92878efdd6a9faa4/embed?autostart=1&internal=1&racking=0&ui_ar=0&ui_infos=0&ui_snapshots=1&ui_stop=0&ui_theatre=1&ui_watermark=0)

Essas experiências de documentação interativa e hipermídia apontam para

<sup>14</sup> O *sketchfab* será melhor apresentado no capítulo 5, tópico 5.9.

uma ampliação das formas de representação e mediação do patrimônio cultural, propondo caminhos que extrapolam os modelos tradicionais de registro técnico. Ainda que muitas dessas propostas estejam em fase experimental ou acadêmica, elas evidenciam uma tendência crescente de incorporar camadas narrativas, sensíveis e participativas aos modelos digitais, o que tensiona os limites operacionais das metodologias consolidadas, como o HBIM. Ao invés de apenas complementar dados geométricos e materiais, essas abordagens ampliam o escopo da preservação para incluir múltiplas vozes e formas de engajamento, ainda que isso traga desafios quanto à padronização, à curadoria dos conteúdos e à sustentabilidade das plataformas. Em diálogo com os tópicos anteriores, percebe-se que a integração entre HBIM e tecnologias de XR não deve se limitar à visualização sofisticada de modelos, mas pode abrir espaço para novas epistemologias do patrimônio, mais abertas à complexidade, à experiência e à multiplicidade dos saberes.

#### **4.7 Síntese sobre as convergências entre xR e HBIM**

Este capítulo demonstrou que a integração entre HBIM e tecnologias xR representa uma evolução significativa nas metodologias de documentação, gestão e comunicação do patrimônio cultural edificado. A convergência dessas abordagens não se limita à mera sobreposição de tecnologias, mas configura um sistema integrado onde o HBIM atua como infraestrutura digital de dados e as xR funcionam como interfaces de acesso e interação.

A partir dessa integração conceitual e funcional, a análise dos usos do HBIM-xR evidenciou vantagens operacionais concretas: facilita o acesso a objetos patrimoniais em situações complexas, reduz tempos de execução de tarefas especializadas, possibilita colaboração remota entre profissionais multidisciplinares, permite análises de geometrias complexas através de representações interativas, viabiliza o desenvolvimento de novas abordagens narrativas que abrangem o patrimônio intangível, possibilita reconstruções digitais temporais e auxilia no monitoramento e avaliação de riscos. Essas vantagens respondem diretamente às limitações identificadas nos modelos HBIM tradicionais, particularmente no que se refere ao acesso e comunicabilidade de dados.

Para compreender melhor essas potencialidades, a discussão sobre xR no patrimônio cultural estabeleceu a importância da distinção conceitual precisa entre RA e RV, baseada na presença ou ausência do ambiente físico na experiência do usuário,

superando classificações centradas apenas no hardware utilizado. A conceituação de *xReality* como termo guarda-chuva, onde 'x' funciona como variável para diferentes formas de realidade digital, oferece um *framework* mais flexível e adequado às aplicações patrimoniais. Contudo, a análise alertou para os riscos de atribuir às tecnologias xR a responsabilidade autossuficiente de produzir impacto emocional e identificação com bens patrimoniais, reforçando que sua eficácia depende fundamentalmente da intencionalidade de uso e do projeto crítico que as sustenta.

Nesse sentido, o conceito de HBIM como infraestrutura digital para xR foi consolidado através da análise de múltiplos estudos que demonstram sua função de *backend*, um repositório centralizado que integra dados geométricos, históricos, materiais e semânticos provenientes de diversas fontes. Esta infraestrutura, especialmente quando desenvolvida com base em UEs, possibilita níveis elevados de LOD e LOI essenciais para a gestão de patrimônios com características morfológicas e tipológicas complexas. As tecnologias xR e plataformas *web-based* operam como *frontends* que utilizam essa base de dados, tornando-a acessível através de diferentes dispositivos e contextos de uso.

No entanto, a aplicação conjunta das tecnologias analisadas apresentou desafios conceituais e operacionais, especialmente no que se refere à interoperabilidade técnica. A diversidade de formatos de dados utilizados nas diferentes etapas do fluxo metodológico, desde arquivos gerados por *scanners a laser* (como *las*, *e57* e *pts*) até os utilizados por aplicações de RV e RA, requer estratégias específicas de conversão e transferência. A utilização de formatos abertos, como o IFC, contribui parcialmente para mitigar esses entraves, embora a complexidade envolvida continue sendo um obstáculo à adoção mais ampla dessas metodologias.

Além da questão técnica, a complexidade dos modelos também se mostrou um ponto crítico, exigindo equilíbrio entre o nível de precisão técnica e a funcionalidade prática. A análise identificou que os níveis de detalhamento devem ser definidos de acordo com as demandas de cada caso, sem recorrer a simplificações que comprometam a autenticidade da documentação, o que configuraria, segundo Brandi, um falso histórico. Essa problemática ultrapassa a dimensão técnica e envolve responsabilidade ética na representação digital do patrimônio.

No campo da comunicação e construção de narrativas, estabeleceu-se que a efetividade dos sistemas HBIM-xR depende não apenas da qualidade técnica dos modelos, mas da capacidade de organizar e apresentar informações de forma

compreensível e envolvente. O conceito de *storytelling*, estruturado através dos princípios 5W1H, oferece metodologia para transformar dados complexos em narrativas coesas. A incorporação de elementos de hipermídia permite navegação não-linear e construção colaborativa de conhecimento, superando limitações das representações estáticas tradicionais.

Por fim, todo o arcabouço teórico até aqui apresentado e a análise dos estudos de caso expostos aqui, que ilustram a aplicação bem-sucedida de HBIM e XR em contextos patrimoniais, fornecem a base conceitual e metodológica robusta necessária para o próximo passo desta pesquisa. Com esse conhecimento consolidado, o foco se volta agora para a aplicação prática desses princípios. O próximo capítulo detalhará a metodologia a ser desenvolvida para o meu estudo de caso, delineando desde o processo de levantamento, modelagem HBIM e construção de uma proposta de aplicação em ambientes xR, visando testar a eficácia dessa abordagem na documentação e salvaguarda patrimonial.

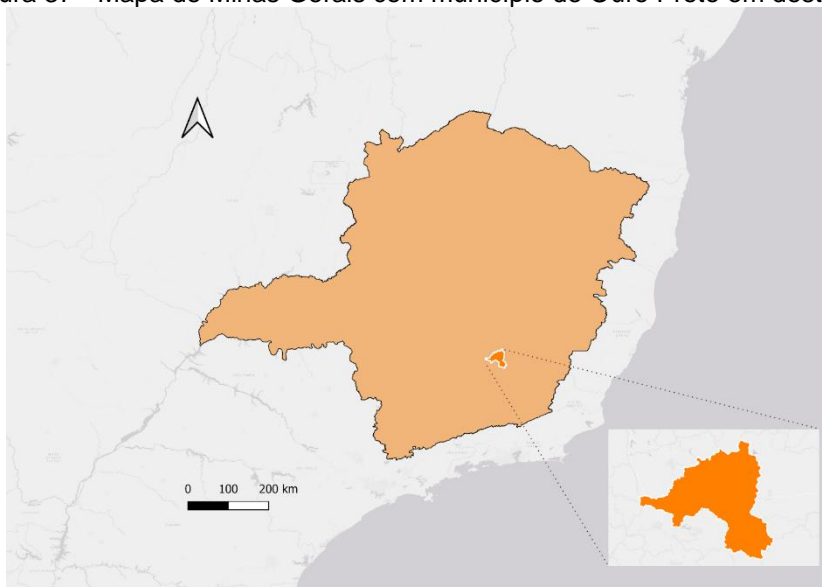
## **5 ESTUDO DE CASO**

Embora o objeto de estudo não se enquadre exatamente na categoria de patrimônio arqueológico, é importante reiterar que todo bem produzido pela ação humana pode ser objeto de investigação sob a ótica arqueológica, conforme reconhecido pelo IPHAN (Najjar e Duarte, 2002). Dito isso, o presente estudo de caso é centrado no medalhão de São Francisco de Assis localizado na Igreja de São Francisco de Assis em Ouro Preto e tem como fim a reconstrução digital do medalhão em HBIM, utilizando uma metodologia que integra o conceito de UEs na modelagem e sua posterior aplicação em ambiente de RA. O estudo está sendo realizado no âmbito do projeto "Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM", desenvolvido por meio do edital universal CNPq 18/2021, (Processo nº 405146/2021-3) e tem sido estruturado em etapas bem definidas: inicialmente, o levantamento e o processamento de dados; em seguida, a modelagem; posteriormente, a inserção de informações no modelo; e, por fim, no âmbito do estudo desenvolvido neste mestrado, a integração desse modelo às tecnologias xR.

### **5.1 Apresentação e contextualização histórica do objeto de estudo**

O objeto estudado está localizado em Ouro Preto, no estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 37). Reconhecida como uma cidade histórica, Ouro Preto foi a primeira cidade brasileira a ser inscrita na Lista do Patrimônio Mundial da UNESCO, em 1980 (Costa *et al.*, 2021). Fundada em 1711 como Vila Rica, a partir da aglutinação de núcleos de exploração aurífera, a cidade rapidamente se destacou pela vasta riqueza mineral que se manifestou no período. Essa riqueza foi um fator preponderante para o notável desenvolvimento econômico e social da região, tornando Minas Gerais a capitania mais dinâmica do Brasil no século XVIII, do ponto de vista econômico e demográfico (Pérez, 2023).

Figura 37 - Mapa de Minas Gerais com município de Ouro Preto em destaque



Fonte: Autora, 2024

Apesar do crescimento notável advindo do ciclo do ouro no séc. XVIII, ao final do século XIX, com a instauração da República, Ouro Preto passou a ser vista como uma cidade arcaica e incompatível com os ideais modernos (Natal, 2007; Costa *et al.*, 2021). Era vista como a materialização de um passado que a República buscava superar, como a topografia acentuada, as ruas irregulares e estreitas, a falta de saneamento básico, vistos como entraves para o crescimento urbano-industrial e desenvolvimento econômico e demográfico (Natal, 2007). Para preservar seu status de capital, foi criado em 1891 o projeto da Empresa de Melhoramentos da Capital, que previa reformas urbanas locais (Natal, 2007; Costa *et al.*, 2021). No entanto, a escassez de recursos e o declínio da mineração resultaram na transferência da capital

para Belo Horizonte em 1897. Paradoxalmente, essa perda de status político e o consequente esvaziamento populacional e estagnação econômica permitiram a Ouro Preto conservar seu caráter histórico e arquitetônico, sem modificações bruscas em seu traçado urbano e características histórico-arquitetônicas (Natal, 2007; Costa *et al.*, 2021).

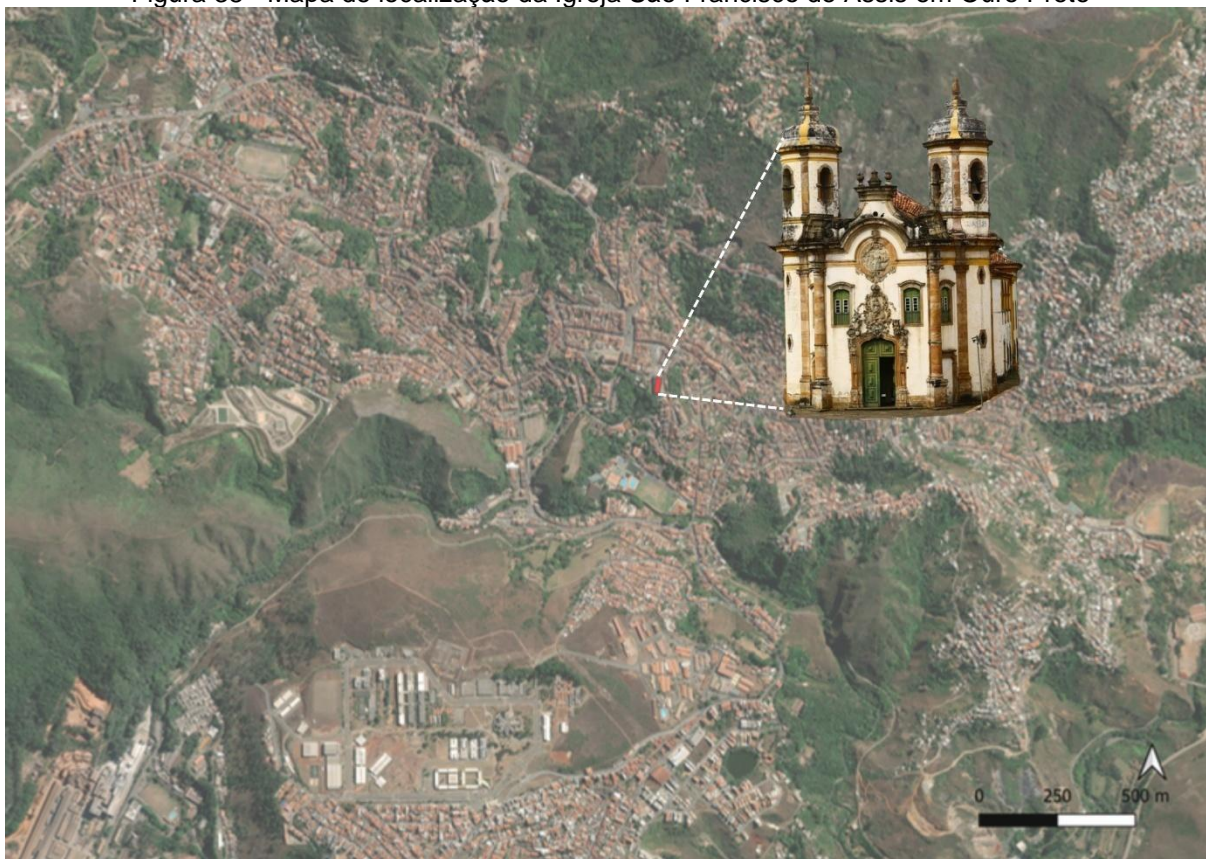
Posteriormente, já no início do século XX, a cidade de Ouro Preto passou a ser objeto de crescente interesse por parte de intelectuais e artistas modernistas, que nela identificaram elementos fundadores da cultura e da identidade nacional brasileiras (Natal, 2007; Costa *et al.*, 2021). Mário de Andrade, em visita à cidade em 1919, destacou o valor singular do barroco mineiro, particularmente das obras atribuídas a Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho, que considerava expressões artísticas autênticas e desvinculadas das convenções formais europeias (Natal, 2007). Tal reconhecimento estava alinhado com os princípios do movimento modernista, que buscava valorizar manifestações culturais consideradas genuinamente brasileiras.

A chamada “viagem modernista” de 1924, realizada por figuras como Oswald de Andrade, Tarsila do Amaral e o próprio Mário de Andrade, contribuiu para consolidar a imagem de Ouro Preto como um núcleo simbólico da brasilidade (Natal, 2007). Esse processo culminou, em 1933, com o tombamento oficial de Ouro Preto como monumento nacional, por meio do Decreto nº 22.928. Foi a primeira cidade brasileira a receber tal reconhecimento, o que marcou um ponto de inflexão nas políticas de preservação do patrimônio histórico no país. Posteriormente, em 1980, a cidade foi reconhecida como Patrimônio Cultural da Humanidade pela UNESCO, por sua importância como um ícone da história brasileira e da herança cultural global (Bechler, 2015).

Uma das edificações que exemplifica a riqueza artística e histórica, particularmente das obras atribuídas a Antônio Francisco Lisboa, é a Igreja da Ordem Terceira de São Francisco de Assis (Figura 38). Iniciada em 1766, por iniciativa da Ordem Terceira de São Francisco da Penitência (Ambrósio, 2019), a edificação combina elementos da tradição arquitetônica religiosa local com influências do rococó e do tardo-barroco europeu, transmitidas por meio de gravuras, tratados e repertórios visuais (Rosa 2022). A autoria do projeto arquitetônico é tradicionalmente atribuída a Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho, com base em relatos orais e na defesa de estudiosos como Lúcio Costa e Mário de Andrade (Junqueira, 2006). No entanto, essa atribuição é questionada por autores como Oliveira (2003), que apontam a ausência

de documentação comprobatória e a diferença estilística entre a estrutura arquitetônica, mais robusta e barroca, e a ornamentação escultórica, marcada pela leveza do rococó.

Figura 38 - Mapa de localização da Igreja São Francisco de Assis em Ouro Preto



Fonte: Monique Renne e modificação da Autora, 2024

## 5.2 O medalhão

Embora existam ponderações sobre a autoria do projeto arquitetônico da igreja, como aponta Oliveira (2003), a autoria de Antônio Francisco Lisboa, o Aleijadinho, no que se refere aos elementos escultóricos e ornamentais da fachada é amplamente reconhecida, sustentada por registros documentais e pela afinidade estilística com sua produção conhecida. Do ponto de vista formal, no plano compositivo, destaca-se o medalhão central na fachada, que representa a cena de São Francisco ajoelhado, com os braços abertos diante da figura de Cristo (Figura 39). Esse gesto dialoga visualmente com o entablamento do edifício, estabelecendo uma harmonia formal entre a escultura e a composição arquitetônica (Etero, 2012). Além disso, a cabeça ligeiramente ampliada do santo, em relação ao corpo, é uma correção intencional para

a perspectiva do observador, que o vê de baixo para cima (Etero, 2012). A escolha de substituir o óculo tradicional por um grande medalhão em alto-relevo é uma das soluções arquitetônicas surpreendentes da igreja. Este medalhão se destaca por ser muito mais escultural e monumental em comparação com outros modelos portugueses tradicionais (Raphael, 2008).

A iconografia da fachada é enriquecida ainda pela presença da imagem de Nossa Senhora da Conceição, que se encontra na portada, logo abaixo do medalhão (Andrade, 2019) (Figura 40). Essa figura, coroada por anjos que simbolizam a Santíssima Trindade, foi incorporada por Aleijadinho ao reformular o projeto da fachada, valorizando o arranque do frontão e acrescentando uma camada simbólica e estética ao conjunto escultórico (Etero, 2012). Essa disposição evidencia a sensibilidade compositiva do artista, que estabeleceu uma relação dinâmica entre os elementos escultóricos, permitindo que tanto o medalhão quanto a portada atuem em conjunto para comunicar significados religiosos e reforçar a expressividade da fachada como um todo.

Figura 39 - Localização do óculo na fachada da Igreja de São Francisco de Assis



Fonte: Monique Renne e Projeto 'Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM' - modificação da Autora, 2024

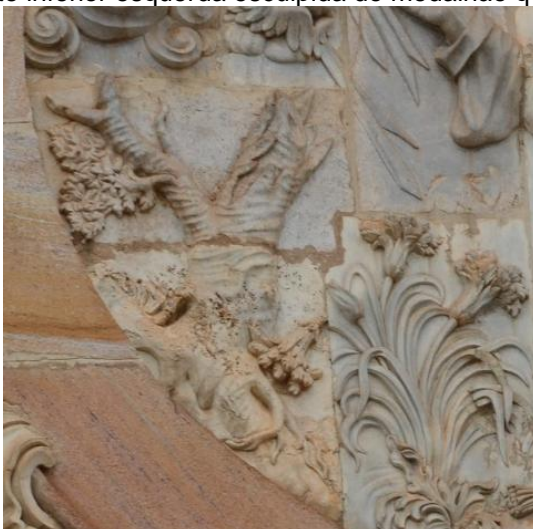
Figura 40 - elementos escultóricos que compõem a fachada da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto



Fonte: Pedro Lobo (1980, portada 2) | ANS IPHAN

A obra de Aleijadinho é repleta de símbolos que visam estabelecer um diálogo com os devotos. Ele tinha a finalidade de transmitir mensagens religiosas até mesmo em pequenos detalhes, como a árvore cortada no lado inferior esquerdo do medalhão (Figura 41), que, apesar de aludir à morte, brota ramos do tronco, simbolizando a constante renovação da vida (Oliveira, 2004; Etero, 2012).

Figura 41 - Detalhe da parte inferior esquerda esculpida do medalhão que mostra a árvore cortada.



Fonte: Projeto Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM

O medalhão não atua como um simples preenchimento de uma moldura arquitetônica predefinida, como poderia se supor a partir de sua posição tradicionalmente reservada ao óculo. Ao contrário, a escultura afirma sua presença de maneira autônoma e reconfigura o espaço que a envolve (Oliveira, 2012). O relevo, assim, não apenas se insere na fachada, mas a transforma, estabelecendo uma centralidade simbólica e visual que reorganiza a leitura do conjunto e revela sua força compositiva própria, constitui uma solução formal pouco convencional na arquitetura religiosa colonial brasileira, destacando-se por sua monumentalidade e complexa iconografia (Raphael, 2008).

Do ponto de vista estilístico, o medalhão representa uma solução escultórica de notável inventividade e singularidade no contexto da arte religiosa colonial brasileira. Seu relevo, composto por gradações de alto, médio e baixo-relevo, aproxima-se das características dos chamados “relevos pictóricos”, nos quais a profundidade é sugerida pela disposição progressiva das massas (Etero, 2012). Diferentemente da perspectiva renascentista, baseada em regras matemáticas de projeção e no ponto de vista fixo e unificado do observador, a escultura de Aleijadinho se ancora naquilo que Pifano (1997) *apud* Oliveira (2003) denomina de “percepção imediata”. Nessa abordagem, cada elemento da cena possui autonomia visual e simbólica, estabelecendo uma leitura episódica, mais centrada na clareza narrativa e na expressividade devocional do que na coerência formal do espaço tridimensional.

Dessa forma, Antônio F. Lisboa realiza uma composição cujo objetivo não parece ser a representação fiel da profundidade espacial, mas sim o estabelecimento de um vínculo direto com o observador, reforçando o conteúdo pedagógico e espiritual pretendido pela encomenda ou pela instituição religiosa. Segundo Etero (2012), mesmo os poucos elementos que remetem à perspectiva clássica, como o templo de Assis ou a auréola de São Francisco, revelam um uso subordinado à função comunicativa da imagem. No contexto colonial, caracterizado por uma população majoritariamente iletrada, acreditava-se que a arquitetura e a arte presentes nas igrejas poderiam funcionar como uma espécie de ‘bíblia aberta’ à comunidade (Ambrósio, 2019), facilitando a transmissão de ensinamentos cristãos. Importa destacar, contudo, que essa concepção se inscreve nas crenças e estratégias discursivas da época, não pressupondo que as imagens carregassem, por si só, significados evidentes ou universais. O medalhão com a cena do milagre do Monte Alverne, por exemplo, pode ter sido concebido como um recurso visual capaz de

comunicar a superação das tensões entre o profano e o sagrado e a integração entre natureza humana e natureza divina, conforme os valores e expectativas de compreensão do público local.

### 5.3 A divisão do medalhão em UEs

Considerando-se a complexidade material e simbólica do medalhão, e alinhando-se à premissa de que a materialidade de qualquer bem construído constitui um documento estratificado passível de análise, propõe-se a seguir a metodologia para sua divisão em UEs. Como posto por Banfi *et al.* (2023), a documentação do patrimônio arquitetônico histórico e arqueológico exige a capacidade de segmentar o objeto de estudo em elementos constituintes e associar-lhes informações detalhadas, isso auxilia a superar as simplificações inerentes a modelos genéricos ou homogêneos, que são inadequados para a complexidade e irregularidade das construções históricas. A segmentação do medalhão foi orientada por critérios construtivos e analíticos: adotou-se como diretriz principal a identificação de cada bloco de pedra individualmente como uma unidade estratigráfica autônoma, articulada aos demais por meio de argamassas de assentamento visíveis (Figura 42).

Figura 42 - Divisão de UEs do medalhão;



Fonte: Autora, 2025.

Estas argamassas, ao funcionarem como marcadores físicos, delimitam as interfaces entre os elementos, tornando possível sua distinção. O conceito de 'limite', 'bordas' ou 'interface' é discutido por autores como Boato e Grottin (1992), que os apontam como fronteiras materiais entre as UEs, essenciais para a identificação das camadas e para a compreensão da sequência de ações construtivas e transformações a que o objeto foi submetido (Figura 43).

Figura 43 - Limites definidores das UEs;



Fonte: Autora, 2025.

No caso da borda reconhecida no medalhão, trata-se de uma borda verdadeira, sendo fácil sua identificação. É importante salientar que a escolha por essa decisão de estratigrafia é arbitrária e poderia ser feita de outras formas. Por exemplo, seria possível segmentar o objeto com base em critérios morfológicos ou iconográficos, agrupando os elementos conforme suas funções formais ou temas presentes na composição escultórica. Outra possibilidade seria dividir segundo evidências materiais, como diferenças na densidade da pedra, marcas de ferramentas ou níveis distintos de desgaste, indicando diferentes fases de intervenção. Ademais, uma abordagem focada nas fases de restauro ou recomposição poderia definir Unidades Estratigráficas relacionadas a adições e reintegrações posteriores à obra original. Cada método privilegia um aspecto diferente da leitura do objeto e deve ser escolhido conforme os objetivos da análise e os dados disponíveis.

A decisão de definir as UEs a partir das divisões físicas correspondentes às pedras talhadas que compõem o medalhão, respeita a materialidade concreta e a

lógica construtiva da obra. Cada pedra representa uma unidade funcional e estrutural autônoma, marcada por bordas verdadeiras claras e facilmente identificáveis, o que assegura maior precisão na delimitação das UEs. Além disso, essa segmentação reflete o processo original de execução pelo autor, Aleijadinho, que trabalhou individualmente cada bloco para compor o conjunto. Ao trabalhar com as pedras como unidades independentes, a análise estratigráfica pode capturar intervenções, desgastes e restaurações específicas a cada elemento, favorecendo um registro detalhado e contextualizado.

Essa escolha também evita subjetividades e ambiguidades que poderiam surgir em divisões baseadas apenas em critérios estilísticos ou iconográficos, que são mais abstratos e menos tangíveis. Além disso, facilita diagnósticos pontuais e ações restaurativas direcionadas, além de subsidiar análises mais precisas sobre a execução e modificações do medalhão. A ideia não é reduzir a arquitetura (ou nesse caso, o elemento arquitetônico) a um acúmulo de estratos, mas propor um diferente método de aproximação, partindo de um ponto de vista diferente, que considera a materialidade da obra e que entre em contato direto com a sua natureza e lógica construtiva (Genovez, 2012).

Nesse sentido, a segmentação em UEs, fundamentada nas divisões físicas correspondentes aos blocos pétreos que compõem o medalhão, viabiliza uma leitura integrada entre a materialidade do bem e sua representação digital, permitindo a associação precisa entre os elementos construtivos e seus atributos informacionais. Isso enriquece o modelo HBIM, transformando-o em um repositório de dados que abarca mais a complexidade estratigráfica, as características materiais e o histórico de intervenções do objeto. Esse modelo então, pode funcionar como um *backend* informacional estratégico para a gestão do conhecimento patrimonial.

A partir desta base informativa granular, a articulação com tecnologias de xR, como a RA, e plataformas *web* é proposta como uma estratégia para a disseminação e a promoção cultural do patrimônio. Tal abordagem visa transpor as limitações inerentes às interfaces tradicionais de *softwares* BIM, que frequentemente restringem o acesso e a comunicabilidade de dados a um círculo restrito de especialistas. Ao conceber o modelo HBIM como um *backend* que alimenta um *frontend* interativo, seja por meio de aplicações xR ou plataformas *web*, é possível oferecer interfaces mais intuitivas, didáticas e acessíveis a um público diversificado, incluindo não especialistas. Essa configuração expande as possibilidades de incorporar formatos

multimídia variados, como arquivos PDF, vídeos, áudios e imagens, otimizando a circulação do acervo informacional produzido e potencializando novas formas de apropriação e engajamento com o bem cultural.

Com isso, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma plataforma interativa e multiplataforma para visualização online do modelo, fundamentada na lógica metodológica do fluxo *Scan-to-HBIM-to-RA*, embora priorizando a centralização e acessibilidade das informações via *web* para maior democratização do acesso. A cadeia procedimental definida (Figura 44) organiza-se em cinco etapas principais: (1) aquisição de dados; (2) processamento; (3) modelagem; (4) inserção das informações no ambiente HBIM; e (5) adaptação dos dados para visualização interativa, contemplando tanto o acesso via website quanto a compatibilidade com dispositivos de RA.

Figura 44 - Descrição detalhada do método de desenvolvimento do modelo do medalhão.



Fonte: Autora, 2025.

#### 5.4 O processo de levantamento e processamento

O processo de levantamento constitui a fase inicial para o conhecimento do bem patrimonial estudado. É uma etapa rigorosa, onde é feita a coleta massiva de informações geométricas e materiais para investigar o estado de conservação, a aparência externa, a ordem interna, os mecanismos construtivos, estruturas, técnicas, deformações e patologias. Esses dados levantados visam fornecer precisão e consistência técnica às demais etapas, tanto de reconstrução digital, quanto de robustez de dados vinculados ao modelo 3D final. Por esse motivo, nesta fase foram empregadas diversas metodologias analíticas de levantamento, que podem ser divididas em três grandes áreas: os levantamentos focados na captura e representação espacial, os levantamentos focados em diagnóstico material e patológico e os levantamentos históricos. No caso das duas primeiras áreas, foram empregadas técnicas de levantamento classificadas como 'ensaios não destrutivos', assegurando uma avaliação abrangente tanto da tecnologia construtiva quanto do estado de conservação do bem cultural. De modo geral, as técnicas de levantamento empregadas foram organizadas na tabela a seguir:

Tabela 5 - Sistematização da etapa de levantamento e equipamentos

Tipo de levantamento	Descrição dos levantamentos realizados	Equipamento Utilizado
Levantamentos focados na captura e representação espacial	Fotogrametria de curta distância com pontos de controle	<i>Nikon D7200 e Nikon D7000</i>
	Aerofotogrametria com veículos aéreos não tripulados (VANTs)	<i>Drone Autel evo II</i>
	Escaneamento com luz estruturada	<i>Scanner Shining Einscan SE</i>
	Mapeamento 3D com Smartphone	<i>LiDAR e aplicativos como Polycam e 3D Scanner em Iphone</i>
Levantamentos focados em diagnóstico material e patológico	Fotografia em alta resolução	<i>Nikon D7200 e Nikon D7000</i>
	Fotografia por fluorescência UV	Lâmpada <i>Spectrum UV-Tritan 365</i>
	Termografia infravermelha	<i>FLIR E5 e FLIR E6</i>
	Análises laboratoriais das argamassas (físico-química, mineralógica e microestrutural)	-
Levantamentos históricos	Levantamento histórico baseado em documentos físicos e digitais de arquivos do IPHAN e da Fundação João Pinheiro (FJP) e em bases de dados online.	-

Fonte: Froner *et al.*, (2024), sistematizada pela autora.

No contexto dos levantamentos focados na captura e representação espacial, a fotogrametria de curta distância, validada por pontos de controle, viabilizou a geração de modelos tridimensionais com precisão milimétrica. Estes modelos são fundamentais para a calibração e a conformação geométrica do modelo HBIM. A aerofotogrametria, utilizando VANTs, foi empregada para a aquisição de imagens em áreas de difícil acesso ou com grande extensão, culminando na produção de nuvens de pontos. Tais nuvens de pontos constituíram a base geométrica essencial para o desenvolvimento do modelo digital. Para a obtenção de registros tridimensionais de alta resolução em áreas de interesse específico que demandam detalhamento minucioso, como superfícies com complexidade morfológica acentuada ou na presença de patologias e deformidades, o escaneamento com luz estruturada foi aplicado, contribuindo para o refinamento do modelo em regiões críticas. Complementarmente, sistemas de mapeamento através de dispositivos móveis, com o uso de *LiDAR (Light Detection and Ranging)*, foram utilizados em áreas selecionadas, fornecendo dados volumétricos que, embora apresentando resolução

variável, foram adequados para a contextualização espacial do objeto e para a verificação geral da consistência do modelo.

No que concerne aos levantamentos focados em diagnóstico material e patológico, a documentação fotográfica de alta resolução permitiu o registro detalhado de deteriorações e manifestações patológicas superficiais. A fotografia ultravioleta (UV), enquanto ferramenta diagnóstica, detectou alterações superficiais, como resíduos de agentes biológicos (ex: excrementos de aves), argamassas de recomposição e produtos sintéticos de consolidações pretéritas (Figura 45).

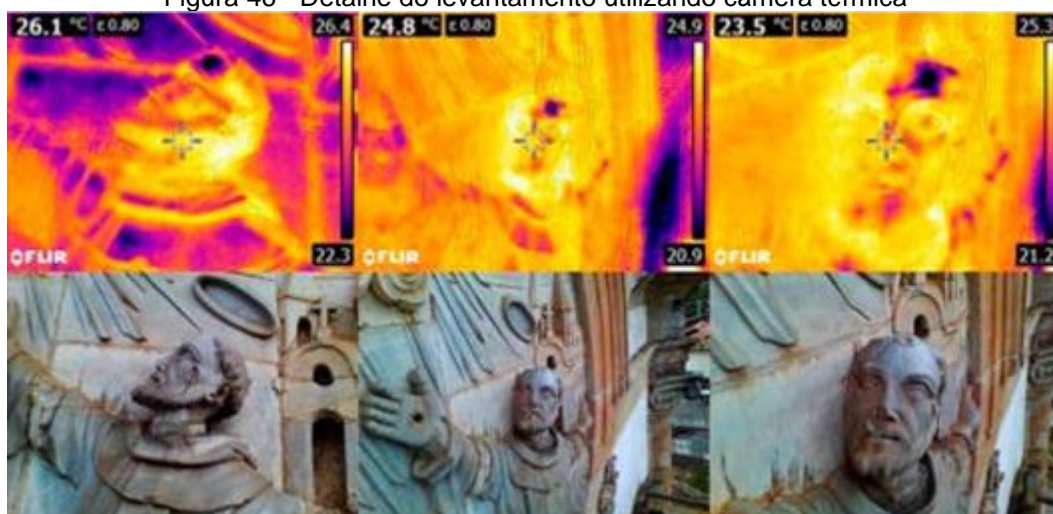
Figura 45 - Detalhe em fotografia de fluorescência UV 365 nm, mostrando no lado esquerdo uma área de intervenção prévia, e no lado direita a testa com excremento de pássaro restante na superfície superior da pedra.



Fonte: Froner et al., (2024)

A termografia infravermelha foi empregada para identificar anomalias termográficas relacionadas a variações higrótérmicas, infiltrações, descolamentos de revestimentos ou argamassas e acumulação de umidade (Figura 46). Adicionalmente, análises laboratoriais das argamassas contribuíram para a caracterização de sua composição físico-química, mineralógica e microestrutural, incluindo a identificação de técnicas construtivas específicas, como o assentamento com cal pura de calcário sem agregados.

Figura 46 - Detalhe do levantamento utilizando câmera térmica



Fonte: Froner et al., (2024)

Complementarmente, os levantamentos históricos subsidiaram a contextualização diacrônica do estado atual de conservação do bem e a compreensão das sequências de intervenção a que foi submetido ao longo do tempo. Para tal, a metodologia inicial do projeto abrangeu uma pesquisa documental exaustiva do histórico de intervenções de conservação e restauração, bem como das metodologias de documentação previamente empregadas no monumento. Esta investigação foi realizada através da consulta a documentos físicos e digitais de arquivos do IPHAN e da Fundação João Pinheiro (FJP), além de bases de dados online, utilizando termos-chave como 'Igreja São Francisco de Assis Ouro Preto'. Como resultado, compilou-se um acervo significativo, compreendendo aproximadamente sessenta e sete documentos, cento e trinta fotografias e quatro plantas arquitetônicas.

### 5.5 O processamento dos dados levantados

O processamento dos dados primários, coletados por meio de técnicas de sensoriamento remoto, constituiu a etapa subsequente aos levantamentos, formalizando o início do fluxo de trabalho *Scan-to-HBIM*. A conversão dos dados brutos em nuvens de pontos tridimensionais foi executada utilizando o software *Agisoft Metashape*, por meio do alinhamento de imagens. Este processo computacional iniciava-se com a importação de imagens, seguida pela identificação e triangulação de pontos correspondentes, permitindo a estimativa de coordenadas tridimensionais e a reconstrução geométrica da área de estudo. Para o levantamento com VANT, por exemplo, o processamento de 953 imagens resultou em um modelo inicial de 318.487

pontos (Figura 46).

Figura 47 - Detalhe da nuvem de pontos levantada



Fonte: Froner *et al.*, (2024)

As nuvens de pontos resultantes, de alta densidade estabelecem o fundamento geométrico para a modelagem tridimensional. Adicionalmente, foram gerados outros produtos, como as malhas tridimensionais (*meshes*), resultantes da triangulação das nuvens de pontos, as quais possibilitaram a visualização contínua e detalhada das superfícies do medalhão. Contudo, a conversão dos levantamentos para o formato de malhas poligonais demonstrou desafios derivados da complexidade geométrica dos dados e ao elevado número de polígonos resultantes, manifestando-se, notadamente, na persistência de lacunas (buracos) na estrutura da malha (Figura 47). Para mitigar tais problemas, tornou-se necessária a geração de versões simplificadas e otimizadas do modelo tridimensional.

Figura 48 - Falhas na malha do objeto 3D, especialmente onde está grifado de laranja na parte interna do objeto

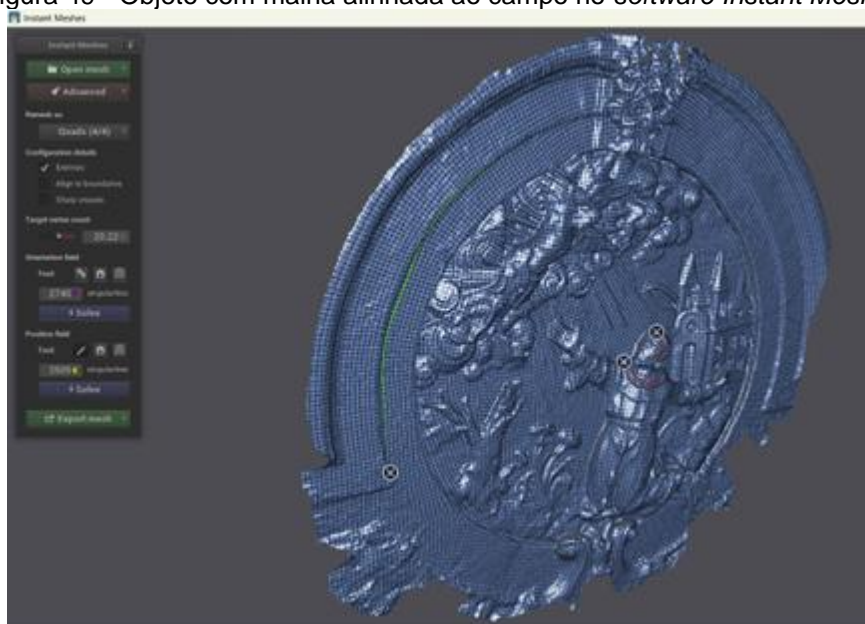


Fonte: Autora, 2024 | Software Blender

Subsequentemente à exportação das malhas no formato .obj, procedeu-se à aplicação da técnica de *remesh*, que consiste na reestruturação topológica da malha para a correção de lacunas e inconsistências geométricas. Este procedimento visa à otimização da representação formal do modelo, conforme ilustrado na Figura 48. Para a execução desta etapa, empregou-se o *software Instant Meshes*, uma ferramenta de código aberto reconhecida por sua eficiência na simplificação e adaptação de malhas tridimensionais, possibilitando uma transformação geométrica eficaz do modelo.

O *software Instant Meshes* possibilita a definição da topologia da malha resultante, optando-se por triângulos ou quadriláteros, além de permitirão operador a capacidade de alinhar a topologia da malha à geometria intrínseca do objeto, através da manipulação de vetores de orientação, permitindo ajustes manuais para otimização da conformidade, como evidenciado na Figura 48. Por fim, o comando *target vertex count* oferece controle sobre o nível de detalhamento da malha final, mediante a especificação do número desejado de vértices: um menor número implica em maior simplificação, ao passo que um maior número assegura maior preservação de detalhes (Figura 49).

Figura 49 - Objeto com malha alinhada ao campo no *software Instant Meshes*



Fonte: Autora, 2024 | *Software Instant Meshes*

Figura 50 - Testes de processamento utilizando quadrados, triângulos e diferentes números de elementos; quanto mais elementos, maior a qualidade da malha e mais difícil de fechar utilizando o Blender.



Fonte: Autora, 2024 | *Software Instant Meshes*

## 5.6 O processo de modelagem

Após a otimização da topologia da malha realizada no *software Instant Meshes*,

decorrente dos desafios impostos pela complexidade geométrica e pelo elevado número de polígonos que resultavam em falhas, o modelo tridimensional foi importado para o Blender, um *software* livre e de código aberto para criação de conteúdo tridimensional. No campo do patrimônio cultural, o Blender se destaca não apenas por suas ferramentas de correção topológica, mas por sua robustez no processamento de malhas complexas, o que o diferencia de softwares com foco restrito à modelagem arquitetônica ou dos sistemas BIM. Sua estrutura permite a manipulação eficiente de grandes volumes de dados geométricos, mantendo a responsividade do ambiente de trabalho mesmo em modelos com alta densidade poligonal, algo essencial em levantamentos digitais de bens com morfologia irregular ou ornamentação detalhada (Grilli e Remondino, 2019).

Além disso, sua licença aberta e gratuita amplia o acesso técnico em contextos acadêmicos e institucionais com restrições orçamentárias, ao mesmo tempo em que possibilita o modelo de desenvolvimento colaborativo, com inovação contínua, sustentada por uma comunidade global ativa. Essa dinâmica permite que atualizações, correções e melhorias ocorram com maior agilidade, reduzindo a dependência de ciclos de licenciamento e suporte comercial, comuns em plataformas fechadas (De Luca *et al.*, 2013).

Subsequentemente à importação do modelo para o ambiente Blender, procedimentos de pós-processamento, como as ferramentas de '*Clean Up*' e '*Fill Holes*', são empregados para o preenchimento automático de lacunas remanescentes na malha. A eficácia dessas ferramentas na correção de falhas topológicas simples ressalta a importância da organização prévia da malha realizada pelo *Instant Meshes*, assegurando a integridade estrutural e a coerência geométrica do modelo. Tal processo foi essencial para a obtenção de um volume tridimensional isento de aberturas ou descontinuidades (Figura 50), característica imperativa para processos de fabricação aditiva, como a impressão 3D, que era um dos objetivos do Projeto CNPq (Figura 51).

Figura 51 - Modelo 3D com desenho vetorizado



Fonte: Autora, 2024 | *Software Blender*

Figura 52 - Impressão 3D de teste inicial para comprovar o fechamento da malha do medalhão.



Fonte: Autora, 2024 | *Software Blender*

Após este procedimento foi realizada a segmentação do medalhão em 14 partes, a partir de uma operação de interseção booleana (*Boolean Intersect*), conduzida no *Edit Mode* do *Blender*. Utilizou-se como base um desenho vetorial desenvolvido a partir do ortomosaico da fachada, o qual serviu como referência para os recortes serem precisos (Figura 52). A imagem do ortomosaico também foi utilizada diretamente no processo, contribuindo para a fidelidade da segmentação. A ferramenta booleana, ao operar por sobreposição de malhas, permite realizar cortes não destrutivos e com alto grau de exatidão espacial, sendo particularmente adequada em contextos que exigem correspondência com a geometria pré-existente. Nesse caso, a operação de interseção foi empregada para preservar exclusivamente as regiões da malha do medalhão coincidentes com os vetores definidos, garantindo a

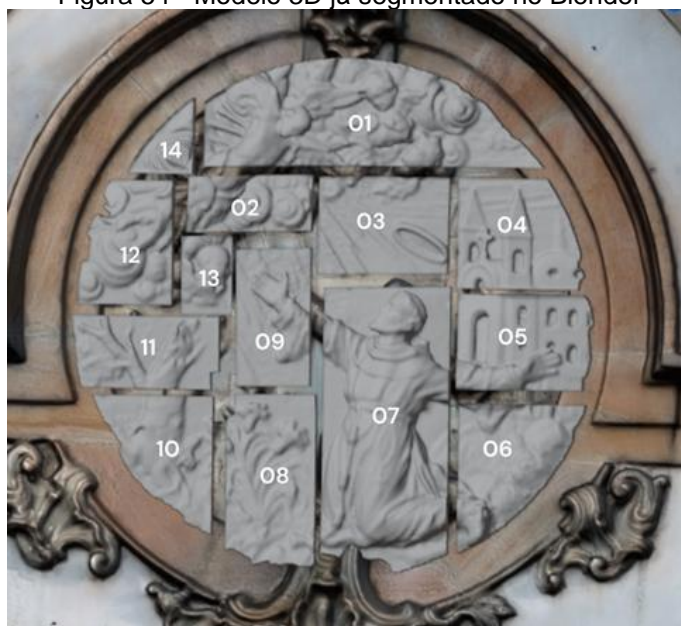
integridade topológica dos segmentos extraídos (Figura 53).

Figura 53 - Modelo 3D com desenho vetorizado para ser segmentado no Blender



Fonte: Autora, 2024 | Software Blender

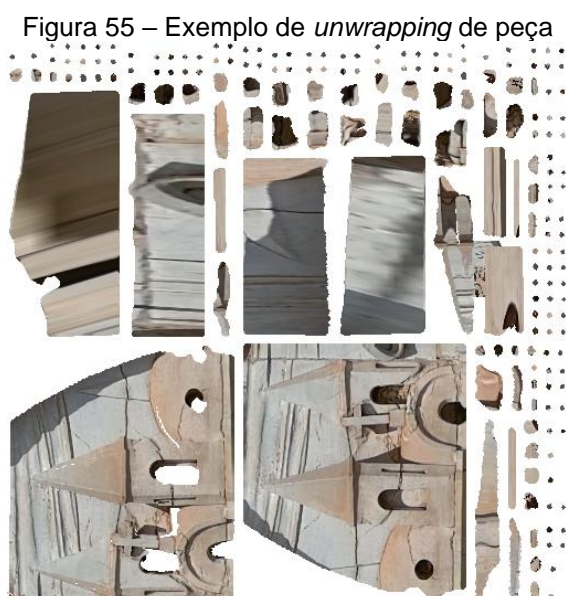
Figura 54 - Modelo 3D já segmentado no Blender



Fonte: Autora, 2024 | Software Blender

Após a segmentação do modelo, realizou-se a aplicação de texturas mediante o processo de mapeamento UV, uma metodologia fundamental para a projeção acurada de dados bidimensionais (como informações de cor, mapas de normais ou de deslocamento) sobre geometrias tridimensionais. No ambiente de modelagem 3D, como o Blender, a primeira etapa do mapeamento UV consiste na criação de um layout bidimensional planar da malha 3D. Este processo, conhecido como 'desdobramento' (*unwrapping*), é análogo à criação de um molde de papel para confecção de roupas (Figura 54). Ele é efetuado a partir de arestas selecionadas e

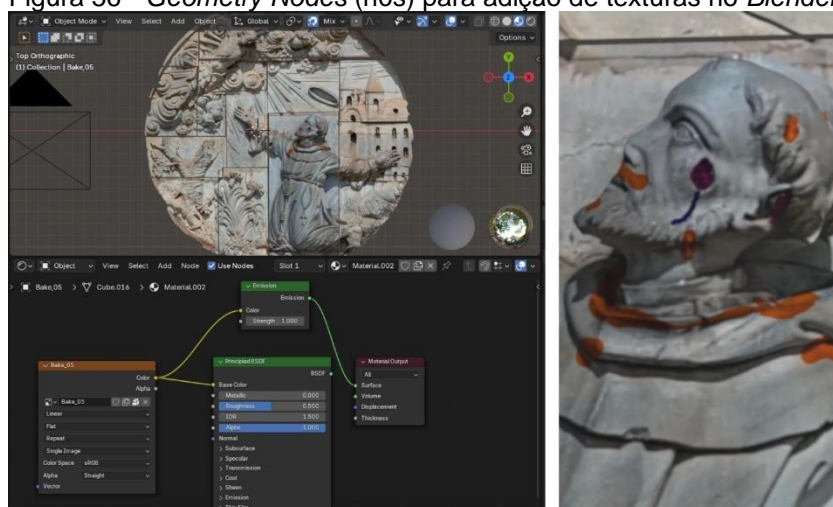
marcadas como 'costuras' (*seams*) no modelo. A marcação estratégica dessas *seams* baseia-se na topologia e nas características morfológicas do objeto, visando otimizar o desdobramento da malha e minimizar distorções na projeção da textura.



Fonte: Autora, 2024 | Software Blender

A presença prévia da textura, diretamente aplicada sobre a malha, otimizou a etapa subsequente de adição de informações referentes a patologias e desgastes. A reprodução fiel das características visuais originais das superfícies, como cores, detalhes e padrões, facilitada pelo mapeamento UV, aprimorou a identificação e localização dos danos, resultando em uma visualização mais clara e uma anotação espacialmente coerente das ocorrências sobre o modelo tridimensional. A partir desse modelo texturizado, deu-se início ao processo de marcação das patologias, simulando um mapa de danos diretamente sobre a geometria do objeto. Esse procedimento foi conduzido no Blender, por meio da funcionalidade dos *Geometry Nodes* (nós), que permitiu adaptar a textura de forma que houvesse mais controle sobre forma, cor e escala das marcações (Figura 55). Assim, foi possível representar graficamente as ocorrências, mantendo a integridade da geometria original do modelo.

Figura 56 - *Geometry Nodes* (nós) para adição de texturas no *Blender*.



Fonte: Autora, 2024 | *Software Blender*

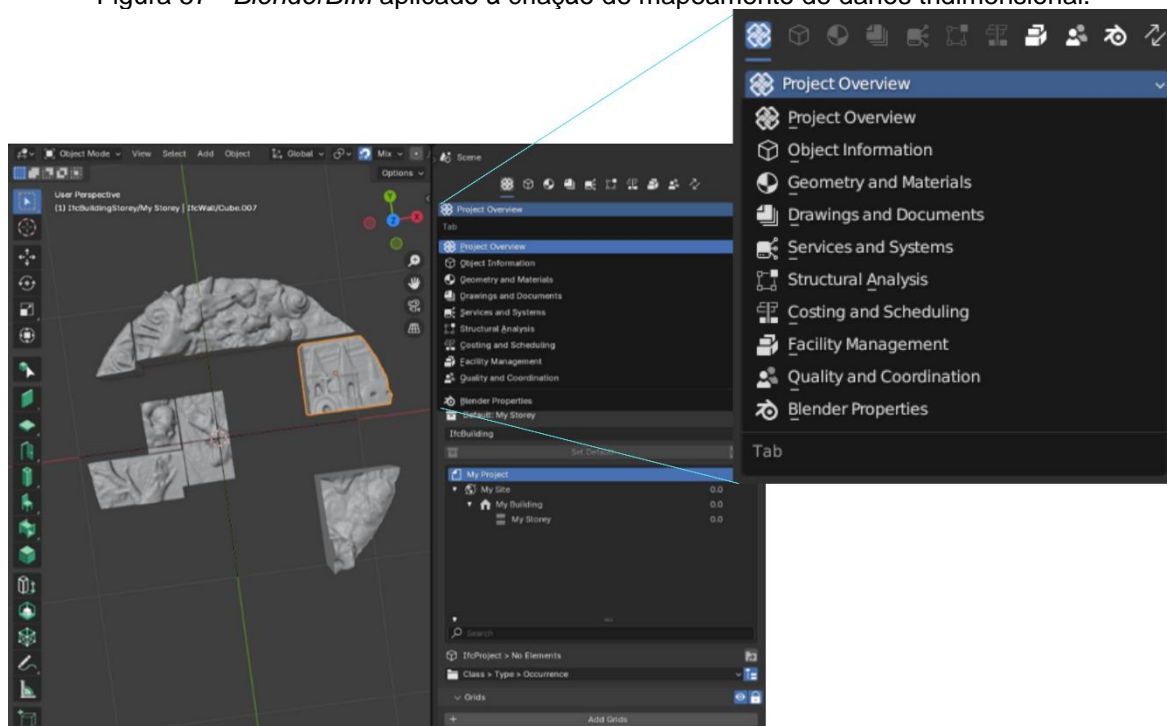
## 5.7 O processo de adição de informações

O objetivo após esta etapa é utilizar o *BlenderBIM*, um complemento (*add-on*) de código aberto para o Blender. Ele permite que o Blender funcione como um software de modelagem BIM, oferecendo uma alternativa de código aberto às soluções BIM proprietárias que geralmente são muito rígidas (Malewczyk, 2021; Lombardi e Rizzi, 2024). As funcionalidades incorporadas pelo *BlenderBIM* se assemelham àquelas encontradas em softwares tradicionais como *ArchiCAD* e *Revit*, com a vantagem de serem compatíveis com fluxos de trabalho *OpenBIM*, fundamentais para a interoperabilidade e a fluidez do intercâmbio de dados em fluxos de trabalho colaborativos no setor AEC. A principal contribuição do *add-on* está na possibilidade de adicionar informações paramétricas diretamente aos objetos modelados no Blender, expandindo suas funções para além da geometria.

Entre as categorias (Figura 56) de dados disponíveis estão: *Project Overview*, com informações gerais do projeto; *Object Information*, com propriedades e relações dos objetos selecionados; *Geometry and Materials*, para dados geométricos, materiais e de estilo; *Drawings and Documents*, que reúne pranchas, cortes, tabelas e documentos técnicos; *Services and Systems*, voltado para sistemas mecânicos, elétricos, hidráulicos, de incêndio e física da edificação; *Structural Analysis*, com modelos analíticos estruturais; *Costing and Scheduling*, que abrange planejamento de etapas, quantificação, cronogramas de custo, animações e gestão de recursos; *Facility Management*, incluindo integração com sistemas de manutenção predial e com o *Brickschema*; *Quality and Coordination*, fornece ferramentas essenciais para

otimizar e analisar modelos IFC, simplificando a detecção de conflitos, a integração de dados e o refinamento do modelo para aprimorar a qualidade e a funcionalidade geral do projeto.

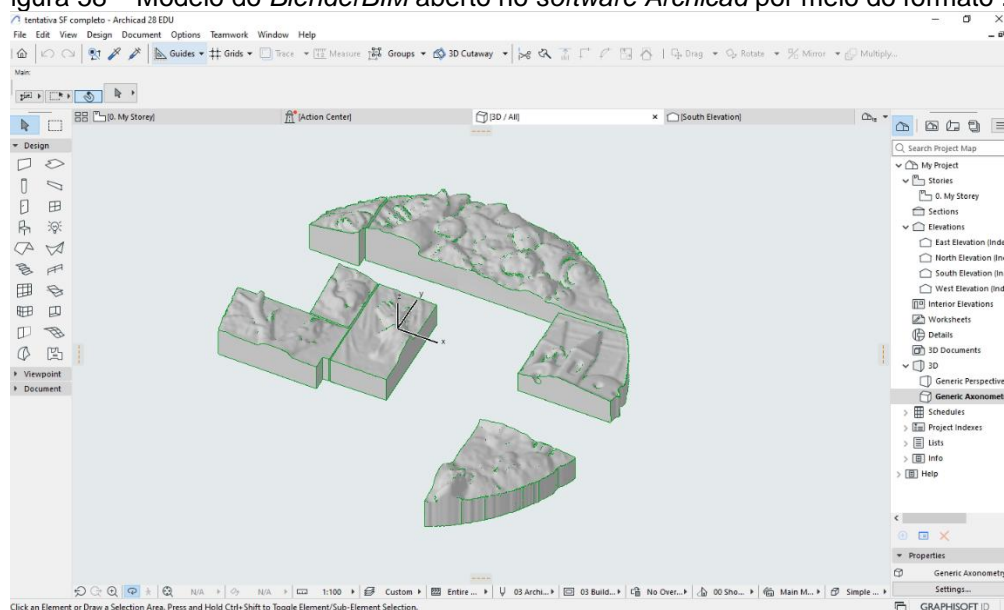
Figura 57 - *BlenderBIM* aplicado à criação de mapeamento de danos tridimensional.



Fonte: Autora, 2025 | *Software Blender*

A interoperabilidade técnica integral do *BlenderBIM* com o padrão IFC assegura que os modelos desenvolvidos no Blender possam ser exportados e subsequentemente importados e editados por outras aplicações BIM que suportem o formato .ifc, como *ArchiCAD*, *Revit* e outros, em contraste com a mera importação como referência (Figura 57), propiciando interoperabilidade técnica. Este processo permite a preservação de informações paramétricas e atributos estruturais do modelo, garantindo a integridade dos dados ao longo das diversas fases do projeto e entre os múltiplos agentes envolvidos.

Figura 58 – Modelo do *BlenderBIM* aberto no *software Archicad* por meio do formato *.ifc*



Fonte: Autora, 2025 | *Software Archicad*

É imperativo salientar que esta fase de desenvolvimento no *BlenderBIM* ainda se encontra em aprimoramento devido a inserção desta pesquisa no escopo de um projeto composto por um grupo de pesquisadores multidisciplinar, cujos objetivos ultrapassam as finalidades imediatas deste estudo. Nesse sentido, para dar continuidade às discussões aqui desenvolvidas, será priorizada a exploração das potenciais articulações entre o modelo 3D baseado em HBIM e a organização e disponibilização das informações por meio de uma interface digital mais acessível. Como foi discutido no cap. 4, no tópico ‘HBIM como infraestrutura digital para xR’, isso posiciona o HBIM como um *backend* e foca no desenvolvimento de um *frontend*, ou seja, será realizada a transição para uma interface de usuário mais interativa, acessível e intuitiva.

## 5.8 A integração do modelo HBIM a uma plataforma digital interativa

Ao longo do percurso deste trabalho, focou-se em discussões a respeito de RV e RA como ‘novas’ possibilidades de interação entre usuários e modelo HBIM. Contudo, embora tais tecnologias tenham sido abordadas como eixo temático, a ênfase da pesquisa recaiu sobre os impactos da integração do modelo HBIM a novas formas de visualização e acesso às informações, e não propriamente no desenvolvimento pleno de aplicações em RV ou RA. Tal enfoque justifica a conceptualização do HBIM como um *backend*, onde o modelo, semanticamente enriquecido com informações, opera como um repositório centralizado, mas que, no

entanto, passa a ser acessado a partir de interfaces mais intuitivas, acessíveis e compatíveis com distintos perfis de usuários, incluindo profissionais não especializados, por meio de dispositivos diversos. Tal configuração expande, por exemplo, as possibilidades de incorporar formatos multimídia variados, como arquivos PDF, vídeos, áudios e imagens, superando as restrições típicas de *softwares BIM* tradicionais.

Inicialmente, ponderou-se o desenvolvimento de uma aplicação em RA que funcionasse simultaneamente como repositório informacional e interface interativa. Entretanto, em razão da não finalização do modelo HBIM, decorrente de demandas paralelas no âmbito do grupo de pesquisa, e da intenção de ampliar o acesso às informações para além de dispositivos específicos, optou-se pelo desenvolvimento de uma interface *web*. Este site protótipo atua como um repositório multifacetado, reunindo informações históricas, iconográficas, documentais, resultados de levantamentos e diagnósticos, além de possibilitar a navegação interativa com o objeto 3D HBIM e fornecer a possibilidade de acesso via RA. Contudo, a interface de navegação em RA é concebida com um nível de complexidade reduzido, e a primazia da organização e acessibilidade informacional para o usuário final reside na plataforma *web*.

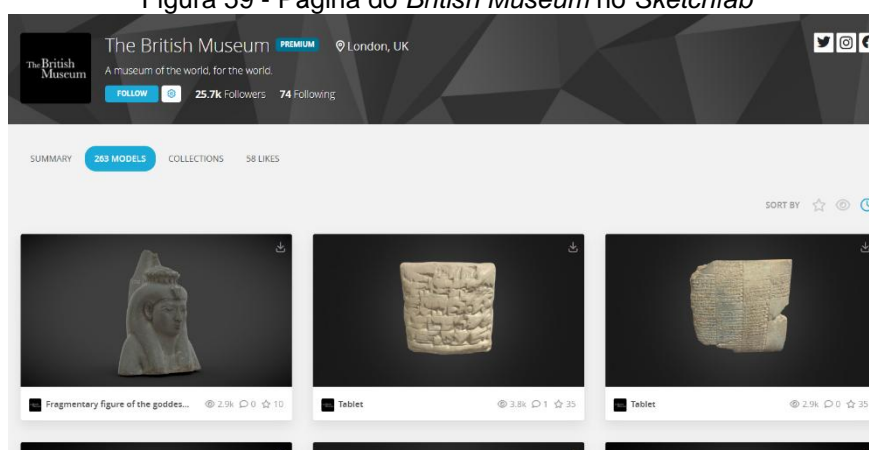
### **5.9 O *Sketchfab* como opção de plataforma**

Diante disso, passa-se, então, à esta etapa de desenvolvimento. Inicialmente, optou-se pela utilização do *Sketchfab* como plataforma de desenvolvimento da visualização tridimensional, principalmente pelo fato de que a plataforma possui amplo reconhecimento na difusão de modelos 3D no campo do patrimônio cultural e das geociências, justificada por suas amplas funcionalidades (como anotações 3D, suporte a áudio, animações, visualização em RV e RA), pela sua ampla base de usuários (mais de 4 milhões ativos), pela sua gratuidade e pela adesão institucional (Apopei *et al.*, 2021). Di Iorio *et al* (2025) aponta que o *Sketchfab* é a maior comunidade online dedicada ao compartilhamento de patrimônio 3D. É uma ferramenta que permite a publicação colaborativa de modelos tridimensionais, promovendo a democratização do acesso ao patrimônio cultural e científico (Gil-Docampo *et al.*, 2020; Apopei *et al.*, 2021; Statham, 2019).

A plataforma é amplamente utilizada por museus e instituições culturais que buscam alcançar públicos mais amplos e diversificados (Apopei *et al.*, 2021; Statham,

2019). Instituições de renome, como o British Museum<sup>15</sup> (Figura 58), o Museo Egizio<sup>16</sup> e o *Centro per la Conservazione ed il Restauro dei Beni Culturali “La Venaria Reale”*<sup>17</sup>, utilizam a plataforma para tornar suas coleções acessíveis globalmente. Além disso, algumas instituições de pesquisa como o Laboratório CoMETA da Politecnico di Torino<sup>18</sup>, a Global Digital Heritage<sup>19</sup>, o Instituto Regional *del Patrimonio Mundial en Zacatecas* (IRPMZ)<sup>20</sup>, entre outros, também utilizam o software para fins de divulgação científica.

Figura 59 - Página do *British Museum* no *Sketchfab*



Fonte: <https://sketchfab.com/britishmuseum/models>

Do ponto de vista técnico, o *Sketchfab* possibilita a personalização da visualização com anotações, iluminação customizada e inserção de sons e imagens, recursos que enriquecem a compreensão dos modelos e oferecem valor informativo adicional, além de ser compatível com dispositivos de RV, aplicativos móveis e RA, ampliando ainda mais o seu potencial de interação (Apopei *et al.*, 2021; Statham, 2019; García-Bustos *et al.*, 2023).

Há, entretanto, algumas limitações nesta plataforma, como o tamanho de arquivo em contas gratuitas (50 MB), exigindo a redução do número de polígonos dos modelos para a publicação, o que pode comprometer alguns detalhes finos, a dependência de conexão de internet estável e a possível perda de qualidade de textura no upload, detalhes que, apesar de importantes, não fazem do *Sketchfab* uma plataforma menos viável.

<sup>15</sup> <https://sketchfab.com/britishmuseum>

<sup>16</sup> <https://sketchfab.com/Museoegizio>

<sup>17</sup> <https://sketchfab.com/ccrvenaria>

<sup>18</sup> <https://sketchfab.com/cometapolito>

<sup>19</sup> <https://sketchfab.com/GlobalDigitalHeritage>

<sup>20</sup> [https://sketchfab.com/IRPMZ\\_UNESCO](https://sketchfab.com/IRPMZ_UNESCO)

Há também preocupações em relação à falta de curadoria científica no site, no sentido de que embora as anotações permitam a inclusão de metadados, a plataforma não exige explicitamente a documentação metodológica detalhada ou as fontes históricas, o que pode levar a uma contextualização inconsistente do conteúdo, especialmente por parte de usuários não profissionais (Statham, 2019). Para solucionar tal problema é viável que quem utiliza a plataforma adote estratégias complementares de validação e contextualização, como o fornecimento de links externos para publicações científicas, relatórios técnicos ou páginas institucionais que documentem os processos de aquisição, modelagem e interpretação dos dados apresentados.

Um outro problema encontrado na plataforma é a migração anunciada do *Sketchfab* para a nova plataforma comercial *Fab*, da *Epic Games*, que tem gerado preocupação significativa na comunidade de patrimônio cultural, uma vez que poderá implicar na perda de milhões de modelos 3D disponibilizados sob licenças abertas. Segundo McKenzie (2023, s.p.), a eventual desativação de recursos como comentários, seguidores, estatísticas e o acesso a downloads representa 'o equivalente virtual à queima da Biblioteca de Alexandria'. A migração forçada para a *Fab*, descrita como mercado focado em venda de ativos digitais, poderá dificultar a preservação, interoperabilidade e acessibilidade dos modelos já publicados, sobretudo aqueles com licenças *Creative Commons* que não são compatíveis com a nova plataforma.

Ainda assim, optou-se por manter o uso do *Sketchfab* neste trabalho justamente pela sua ampla disseminação, acessibilidade e compatibilidade com diferentes dispositivos e navegadores, o que facilita o compartilhamento com públicos diversos e não especializados. Além disso, a plataforma resolve uma demanda técnica central deste tipo de iniciativa: a hospedagem dos modelos tridimensionais em ambiente *web* com suporte nativo à visualização interativa, sem a necessidade de desenvolvimento de infraestrutura própria ou programação adicional. Ao permitir a incorporação direta dos modelos em páginas institucionais, artigos e repositórios online, o *Sketchfab* simplifica o processo de difusão e amplia significativamente o alcance das visualizações.

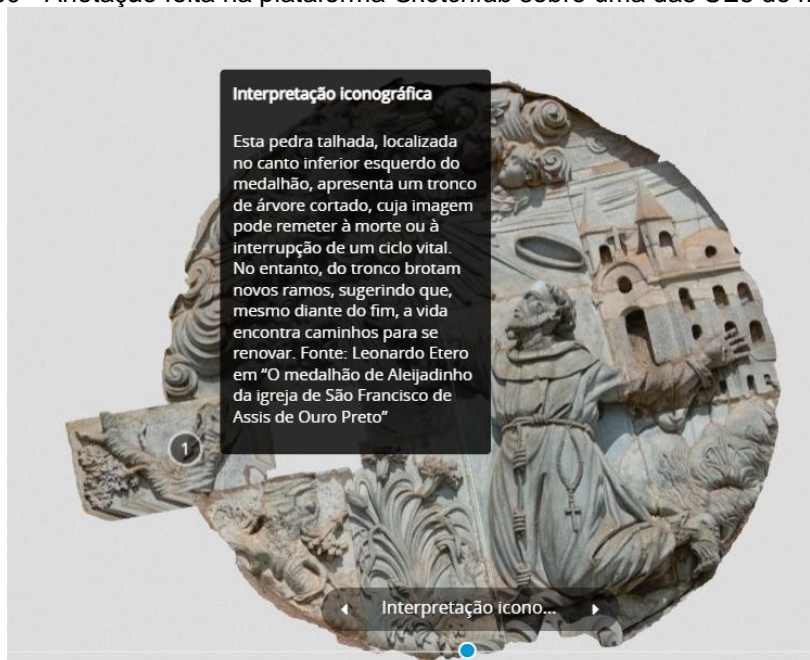
Por ser multiplataforma, garante também a interoperabilidade com sistemas operacionais variados e dispositivos móveis, além de integrar recursos de RV e RA, o que a torna especialmente adequada para experimentações de acessibilidade e

comunicação digital. Considerando que esta é uma etapa exploratória e experimental de publicação de modelos 3D, o foco recai menos na criação de um repositório definitivo e mais na avaliação das possibilidades comunicacionais que a plataforma oferece no contexto da difusão do patrimônio digital.

### 5.10 O desenvolvimento do modelo para a plataforma *Sketchfab*

O modelo inicial desenvolvido corresponde à representação integral do medalhão, segmentado em UEs. Cada UE pode ser navegada individualmente e contém anotações relacionadas aos contextos histórico, estilístico, material e aos diagnósticos patológicos (Figura 59).

Figura 60 - Anotação feita na plataforma *Sketchfab* sobre uma das UEs do medalhão.



Fonte: Autora, 2025 | Plataforma *Sketchfab*: <https://skfb.ly/pyWZQ>

No Blender, a animação foi criada utilizando o sistema de *rigging*, que consiste em construir um esqueleto digital formado por *bones* (ossos) (Figura 60). Esses *bones* funcionam como controles que movimentam e deformam a malha 3D do modelo, permitindo que ele se mova de forma articulada. Para animar, utiliza-se o modo chamado *Pose Mode*, onde são definidos *keyframes*, pontos específicos na linha do tempo que registram a posição, rotação e escala dos bones. Entre esses *keyframes*, o Blender calcula automaticamente as transições, criando os movimentos. No caso específico do medalhão, a animação foi desenvolvida com movimentos simplificados, caracterizados primariamente por ações de 'arrastar'. Esta abordagem teve como

propósito principal elucidar a divisão em UEs individuais, promovendo uma compreensão clara da segmentação do objeto em uma visão de conjunto.

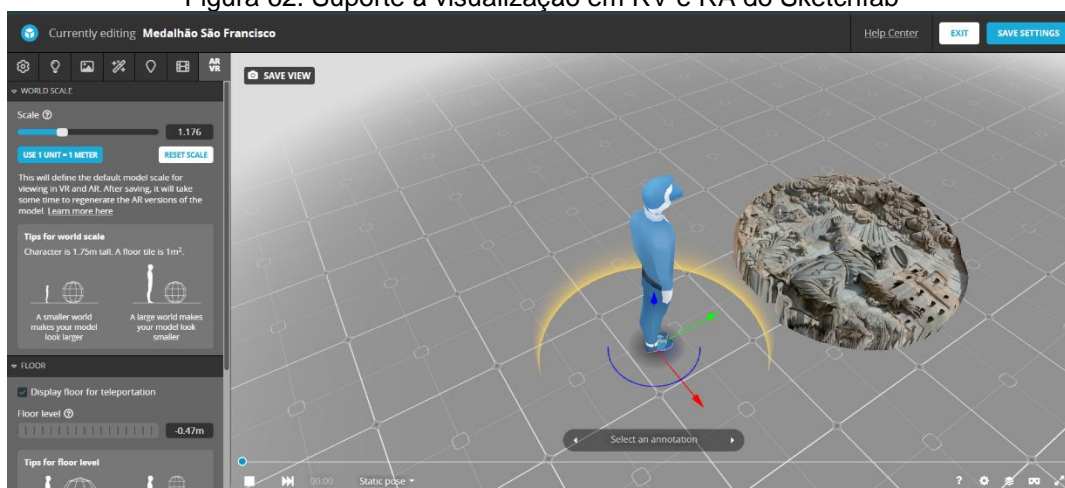
Figura 61 - *Bones* do esqueleto criado para animar o 3D do medalhão



Fonte: Autora, 2025 | Plataforma Sketchfab: <https://skfb.ly/pyWZQ>

Posterior a isso o modelo foi exportado no formato .glb/.glTF (GL Transmission Format), que preserva informações essenciais como geometria, texturas, materiais, animações e hierarquias de *rigging*, garantindo compatibilidade e desempenho adequados para a plataforma *Sketchfab*. A interface do *Sketchfab* permite ajustes específicos diretamente na plataforma, incluindo configurações de iluminação, modificação de materiais, aplicação de filtros, controle de animações, inserção de anotações interativas e suporte à visualização em RV e RA (Figura 61). Após a exportação do medalhão, foram inseridas as anotações e realizadas as modificações pontuais necessárias para finalização e disponibilização pública do modelo.

Figura 62. Suporte à visualização em RV e RA do Sketchfab

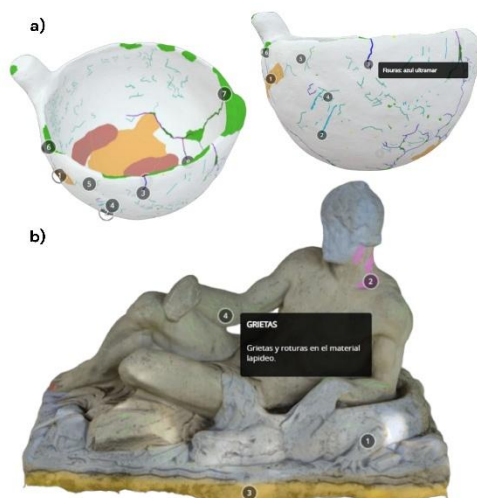


Fonte: Autora, 2025 | Plataforma Sketchfab: <https://skfb.ly/pyWZQ>

Outro potencial identificado na plataforma *Sketchfab* refere-se à sua aplicabilidade como ferramenta de registro digital do estado de conservação do bem. Além da visualização tridimensional detalhada, é possível navegar por mapas de danos em 3D (Figura 62), no qual as anotações podem ser posicionadas diretamente sobre o local dos danos, permitindo identificar, descrever e contextualizar as patologias de forma espacializada. Isso facilita tanto a análise por equipes técnicas quanto a comunicação com o público, ao transformar um diagnóstico técnico em uma interface mais visual e acessível.

Figura 63 - 'Mapas de danos' 3D.

A primeira imagem diz respeito a um *Gánigo guanche*, um recipiente de cerâmica feito à mão pelos antigos habitantes das Ilhas Canárias e o segundo à escultura alegórica de um homem nu que representa o rio colombiano Magdalena, situada nos Jardins das Delícias de Arjona, em Sevilha (Espanha).



Fonte: Lorena Haro Tabares <https://skfb.ly/oJpWY> e Leonor Bosa <https://skfb.ly/6GqA8>

A partir disso, buscou-se desenvolver<sup>21</sup> uma forma de documentação de danos em pelo menos uma das UEs do medalhão (Figura 63). Essa abordagem também dialoga com os fundamentos teóricos discutidos ao longo desta dissertação, propondo uma ampliação do escopo tradicional da documentação patrimonial e buscando não apenas o registro técnico-formal, mas também a construção de estratégias que favoreçam a acessibilidade à informação, o engajamento e a interação de diferentes perfis de usuários com o bem cultural, contribuindo para uma compreensão mais abrangente e participativa do patrimônio.

Figura 64 - Mapeamento de danos tridimensional do medalhão no *Sketchfab*



Fonte: Autora, 2025 | Plataforma *Sketchfab*: <https://skfb.ly/pyWZQ>

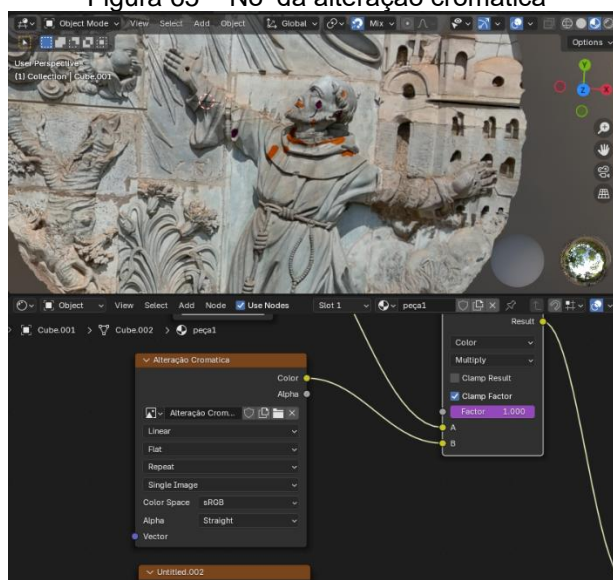
Para o desenvolvimento do mapa de danos tridimensional, utilizou-se o *software Blender*, que permite a aplicação de materiais e texturas diretamente sobre a malha 3D. No contexto desta etapa da modelagem digital, o termo ‘material’ refere-se ao conjunto de propriedades visuais atribuídas à superfície de um objeto, como cor, brilho, transparência e textura. Esses materiais são essenciais para a representação gráfica de diferentes estados ou características do bem, como, neste caso, as patologias mapeadas na superfície do medalhão. No *Blender*, essas propriedades podem ser definidas por meio do *Shader Editor*, uma interface baseada em nós (*nodes*) que permite a construção de estruturas visuais modulares e altamente configuráveis. Cada “nó” representa uma função ou atributo visual (por exemplo, cor,

<sup>21</sup> Em consonância com os objetivos do projeto “Protocolos de Gestão de Riscos ao Patrimônio Cultural: documentação científica e monitoramento utilizando o mapa de danos por BIM” (Processo nº 405146/2021-3),

opacidade, mistura de texturas), e pode ser conectado a outros para formar um fluxo de dados que controla a aparência final da superfície.

Essa abordagem nodal oferece maior flexibilidade em comparação aos métodos convencionais de texturização, pois permite alterar, combinar ou substituir parâmetros de forma não destrutiva, mantendo a organização e a clareza na codificação gráfica das informações. Para representar os diferentes tipos de danos identificados no medalhão, foram atribuídas cores distintas a cada patologia, organizadas por meio de nós específicos no *Shader Editor* (Figura 64). Isso permitiu tanto a visualização clara e segmentada das ocorrências quanto a possibilidade de ajustes posteriores no modelo sem a necessidade de reconstrução total do material aplicado.

Figura 65 - 'Nó' da alteração cromática



Fonte: Autora, 2025 | Software Blender

Subsequentemente, após a identificação e modelagem das patologias na malha 3D, o arquivo foi salvo no formato .glb/.gltf e exportado para a plataforma *Sketchfab*. Neste ambiente online, foram integradas anotações, conferindo ao modelo a funcionalidade de um mapa de danos navegável para a peça do medalhão, demonstrando a viabilidade metodológica para aplicação nas demais unidades componentes do objeto de estudo.

### 5.11 O desenvolvimento do protótipo *website* para integração dos dados

A plataforma *Sketchfab*, apesar de seu potencial inerente para a documentação digital de bens culturais, especialmente na criação de modelos 3D navegáveis com

anotações georreferenciadas que possibilitam a identificação, descrição e contextualização espacializada de patologias, apresenta uma restrição quanto ao formato dos dados vinculáveis a essas anotações. Essa limitação se manifesta na exclusividade do formato textual para os atributos informacionais, o que pode condicionar a riqueza da informação direta no modelo. Por esse motivo, a organização e acessibilidade de dados mais abrangentes neste trabalho foi primariamente direcionada ao *website* protótipo, atuando como vetor para a integração de informações adicionais.

A centralização informacional de bens culturais constitui um pilar fundamental para a gestão eficaz do patrimônio edificado, dada a complexidade intrínseca aos processos de documentação, preservação e manejo desses bens. Historicamente, a gestão patrimonial caracterizou-se pela fragmentação dos dados, com informações dispersas em múltiplas fontes e formatos, ocasionando lacunas de conhecimento e ineficiências operacionais (Baik, 2021). A consolidação dessas informações em um sistema unificado, exemplificado pelo modelo HBIM, associado a um ambiente de dados comuns, nesse caso esse website, cria um 'repositório multifacetado' de informações e pressupõem a integração de dados diversos. Essa abordagem otimiza a qualidade técnica na implementação de projetos de intervenção e nos processos de manutenção e gestão de riscos, ao permitir a integração de dados científicos provenientes de diversas técnicas de levantamento e diagnóstico, e ao transformar o diagnóstico técnico em uma interface mais visual e acessível, facilitando tanto a análise por equipes técnicas quanto a comunicação com o público.

Dito isso, para a criação deste site utilizou-se a plataforma *Wix*, uma ferramenta de desenvolvimento web baseada em interface gráfica que permite a construção de páginas personalizadas sem a necessidade de conhecimento de codificação avançada. A escolha pela plataforma se deu pela sua compatibilidade com a incorporação de modelos 3D interativos, como aqueles hospedados no *Sketchfab*, além de oferecer recursos suficientes para a organização de conteúdo técnico, visual e textual de forma acessível. A interface do *Wix* possibilitou a estruturação de seções específicas para contextualização histórica, documentação gráfica e visualização tridimensional, atendendo às demandas do projeto tanto em termos de apresentação quanto de usabilidade.

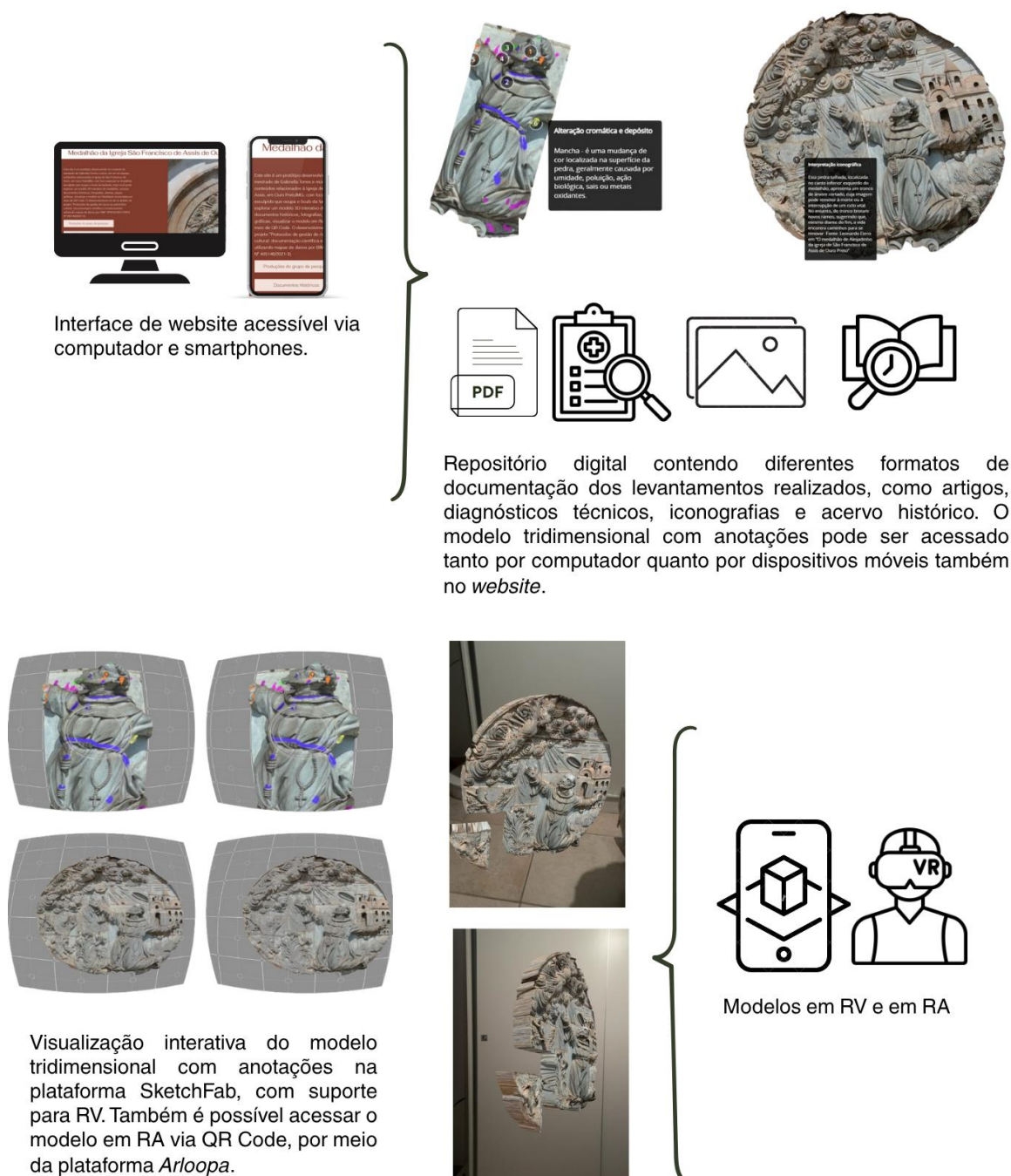
A Figura 65 apresenta, de forma esquemática, as possibilidades de interação do modelo tridimensional do medalhão derivadas dos diferentes recursos de

visualização e integração digital. O modelo principal, hospedado na plataforma *Sketchfab*, que permite navegação interativa com anotações georreferenciadas diretamente vinculadas a elementos do objeto. Este modelo foi incorporado diretamente ao *website* desenvolvido, utilizando código *embed*, o que viabiliza sua visualização e manipulação em ambiente *web* sem a necessidade de redirecionamento externo.

A interface do *website*, elaborado pela plataforma *Wix*, é acessível por computadores e dispositivos móveis e opera como um repositório digital centralizado. Nela, encontram-se reunidos diversos formatos de documentação técnica, incluindo levantamentos iconográficos, diagnósticos materiais, acervos históricos e artigos técnicos, os quais complementam a leitura do modelo 3D. A articulação entre essas camadas informacionais proporciona uma estrutura coesa para consulta técnica e comunicação ampliada.

Adicionalmente, o *Sketchfab* oferece suporte nativo à visualização em RV. No entanto, o recurso de RA é disponibilizado apenas mediante subscrição *premium*. Para contornar essa limitação, optou-se pela utilização complementar da plataforma *Arloopa*, que permite a inserção do modelo em RA, através do próprio *Sketchfab* e seu acesso por meio de *QR Code*. Esse *QR Code* foi incorporado ao *website*, possibilitando que o usuário acesse a visualização RA diretamente por dispositivos móveis. Há, ainda, a possibilidade de impressão e afixação do *QR Code in loco*, em contextos de visita física ao bem patrimonial. A solução integrada entre *website* e *Sketchfab* viabiliza múltiplas modalidades de visualização e consulta, adaptadas a diferentes perfis de usuários e contextos de uso, e assegura a difusão estruturada e tecnicamente qualificada das informações produzidas ao longo da pesquisa.

Figura 66 – Esquema explicativo das possibilidades de interação com o modelo através de xRs e de website.



Fonte: Autora, 2025

A estruturação informacional da plataforma digital foi delineada buscando a otimização da comunicabilidade dos dados, conforme discutido no Capítulo 4, tópico 4.5 'comunicação e construção de narrativas xRs'. Essa abordagem enfatiza a integração de metodologias narrativas (*storytelling*) como estratégia para conferir ao conteúdo maior caráter informativo, engajante, memorável e atrativo para o usuário final. Entre as estratégias indicadas na literatura, destacam-se as contribuições de Lee

*et al.* (2019) e Banfi *et al.* (2023), que recomendam a aplicação do framework 5W1H como instrumento para organizar os elementos informacionais de maneira lógica e compreensível. No caso do site, a organização foi concebida de modo a explicitar esses princípios, ao mesmo tempo em que garante clareza na recuperação das informações por meio de uma lógica de agrupamento temático coerente, já que se entende o website como repositório multifacetado e acessível, comprometido com a transparência e eficácia na comunicação dos dados ao público.

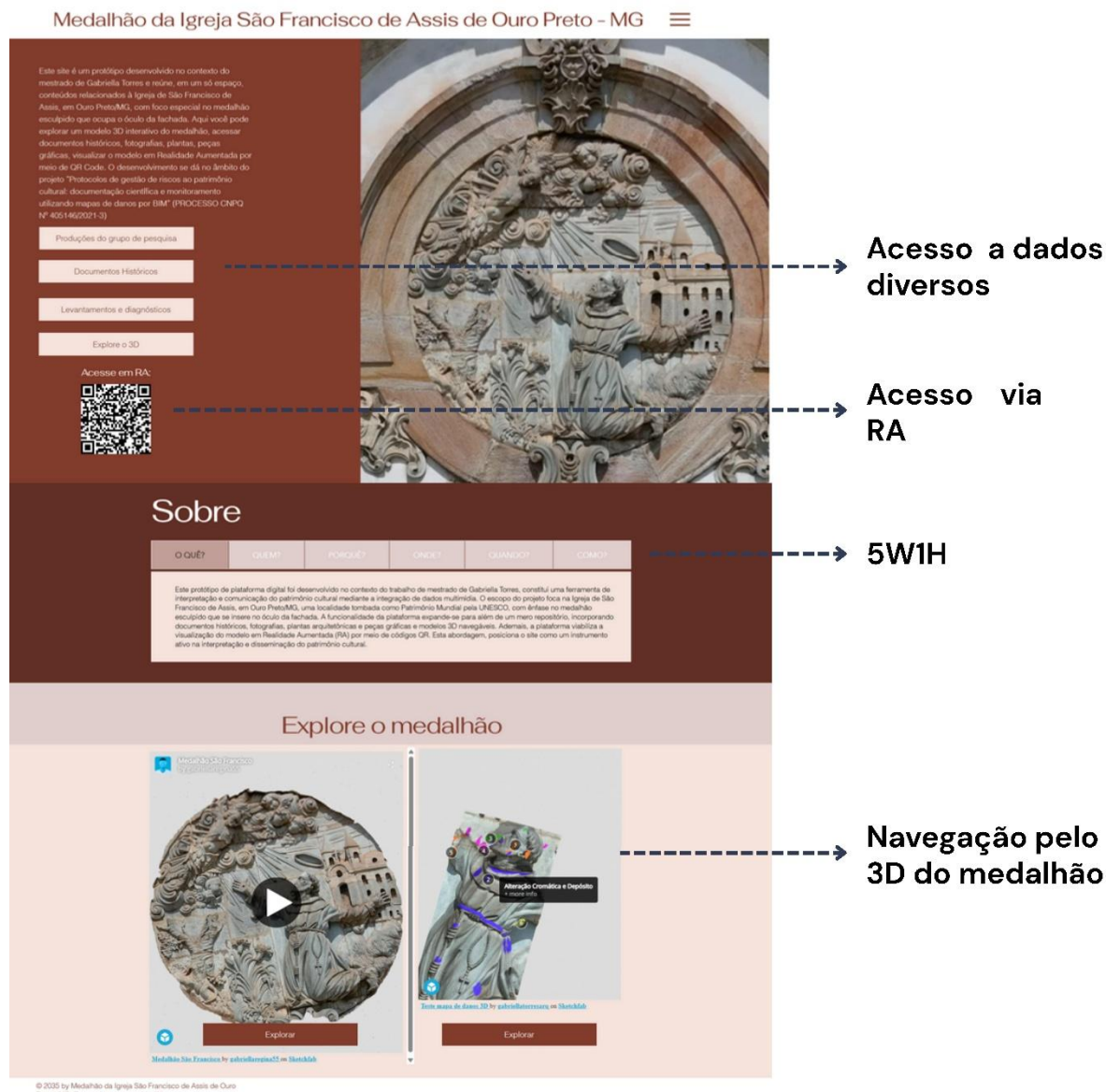
O site pode ser acessado por meio do link: <https://gabriellatorresarg.wixsite.com/medalhaosaofrancisco>, ou por meio do *QR Code* da figura 66. No entanto, por se tratar de um protótipo (figura 67) desenvolvido especificamente para fins acadêmicos, sua permanência online possivelmente será limitada após a defesa do trabalho. Ainda assim, nos apêndices de 3 a 8 deste documento é possível consultar a estrutura e a organização das páginas que compõem o protótipo, evidenciando as decisões de *layout*, hierarquia informacional e integração dos recursos interativos.

Figura 67 - *QR Code* de acesso ao site



Fonte: Autora, 2025

Figura 68 - Site desenvolvido no âmbito do mestrado acadêmico de Gabriella Torres como forma de divulgação e organização informacional dos dados relacionados ao medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto.



Fonte: Autora, 2025 | <https://gabriellatorresarq.wixsite.com/medalhaosaofrancisco>

## 5.12 Retomando limites, escolhas e oportunidades do processo

O desenvolvimento do presente estudo, centrado na modelagem HBIM do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis e na criação de uma interface digital interativa para sua divulgação, foi delineado por escolhas metodológicas e operacionais que, embora balizadas por um arcabouço teórico rigoroso, enfrentaram limitações inerentes ao escopo de uma pesquisa de mestrado e à dinâmica de um projeto multidisciplinar mais amplo. Esta seção visa retomar algumas reflexões sobre os limites e as oportunidades que surgiram no processo, apontando questões que

deixaram de ser abordadas neste momento, mas que, potencialmente, poderiam enriquecer a elaboração do modelo.

Como visto, a metodologia adotada para a modelagem HBIM pautou-se na conceituação de UEs como elementos fundamentais para a representação da história construtiva e material do objeto. A decisão de segmentar o medalhão em UEs correspondentes a cada bloco de pedra talhada, delimitadas por suas bordas verdadeiras, demonstrou-se eficaz para capturar a lógica construtiva e as intervenções específicas de cada componente. Essa abordagem, alinhada aos preceitos da arqueologia da arquitetura, permitiu uma leitura precisa do medalhão, onde cada UE se constitui em um estrato informacional.

Entretanto, é pertinente salientar que esta etapa da modelagem não abarcou a representação explícita de todas as tipologias de UEs discutidas teoricamente nesta dissertação, como as 'unidades negativas' (-UE) (Demetrescu, 2015) ou as interfaces complexas entre as camadas. Exemplos como a falha presente no rosto do São Francisco no medalhão, embora identificada visualmente, não foi modelada como uma -UE com atributos informacionais específicos além de sua condição patológica. Similarmente, as 'linhas de junção' (Doglioni, 2008; Genovez, 2012) que definem os limites entre as UEs, embora cruciais para a segmentação, não foram incorporadas ao modelo com todos os seus atributos associados a fenômenos físicos, químicos e estruturais de interação. Tais representações, embora possíveis e relevantes para um diagnóstico mais aprofundado, representam um limite operacional da presente fase da pesquisa, que priorizou a delimitação das UEs positivas e a documentação das patologias superficiais. A completa integração de -UEs e a atribuição de parâmetros detalhados às interfaces constituem oportunidades para estudos futuros, ampliando a capacidade preditiva e analítica do modelo para intervenções de conservação.

No que tange à avaliação dos artefatos, a metodologia DSR empregada neste trabalho preconiza a criação e a avaliação de artefatos para solucionar classes de problemas. Conforme a Tabela 02 (Capítulo 1), o fluxo de trabalho de modelagem baseado em UEs foi submetido a um método de 'teste' (realização da modelagem do zero), e o modelo HBIM + protótipo de *site* com RA foi avaliado de forma 'descritiva', com base em argumentos teóricos e cenários que evidenciam sua utilidade. Apesar disso, reconhece-se que a etapa de avaliação presente pode ser ampliada em pesquisas futuras. Seria particularmente interessante implementar métodos de avaliação 'observacionais', por meio de estudos de campo com profissionais de

conservação e restauro envolvidos no manejo do medalhão. Essa abordagem permitiria verificar a 'utilidade prática' e a 'confiabilidade do artefato e de seus resultados quando em uso', validando empiricamente se a solução proposta contribui efetivamente para os processos de diagnóstico, documentação e planejamento de intervenções.

Adicionalmente, a complexidade dos modelos digitais, fundamental para a representação fiel de bens patrimoniais, exige uma avaliação que ultrapasse a funcionalidade básica. Parâmetros como o LOD, LOI, LOG e até o GOG e GOA, discutidos na Seção 2.9.3, Capítulo 2, embora não formalmente aplicados como métodos avaliativos neste estudo, representam métricas importantes para a validação da confiabilidade e qualidade dos modelos HBIM. O LOD, por exemplo, abrange a representação gráfica e o nível de informação de um objeto, e sua subdivisão em LOG e LOI permite avaliar separadamente a precisão geométrica e a profundidade dos dados não-geométricos. Os GOGs e GOAs complementam essa análise, quantificando a precisão do processo de modelagem a partir de dados de levantamento. A não aplicação formal de todos esses parâmetros neste estudo de caso configura um limite operacional, priorizando-se a demonstração da aplicabilidade da metodologia de modelagem em UEs e a construção da interface. No entanto, sua integração em futuras avaliações permitirá um juízo mais objetivo sobre a qualidade informacional e geométrica do artefato digital.

Para o aprofundamento técnico, uma exploração mais aprofundada do uso do *BlenderBIM* é indicada, especialmente em relação a projetos com geometrias complexas e requisitos específicos do patrimônio edificado, investigando recursos técnicos e operacionais ainda não abordados nesta pesquisa. Além disso, a comparação de diferentes plataformas de interação com modelos digitais, como o *Sketchfab* (mais acessível, usado neste estudo) em contraste com *Unreal Engine* e *Unity* (mais complexas, personalizáveis, baseadas em programação), seria importante para estudar a acessibilidade, escalabilidade e aplicabilidade de cada uma frente a diferentes públicos e contextos de uso.

Outro ponto importante é a comunicabilidade dos modelos digitais com públicos não especializados como uma oportunidade de aprofundamento. Não foi o foco da dissertação se aprofundar neste assunto, mas seria importante estudar a usabilidade e a linguagem visual para garantir que os modelos digitais, embora tecnicamente complexos, sejam acessíveis e compreensíveis para públicos leigos. Isso se conecta

com a educação patrimonial e a mediação cultural, onde os modelos digitais podem atuar como ferramentas para a construção de memória e engajamento. A discussão sobre a autenticidade das representações digitais (Rafeiro *et al.*, 2024) e seu impacto social é crucial, pois os modelos não devem ser vistos apenas como ferramentas técnicas, mas como instrumentos de construção de sentido e de disputa simbólica sobre o patrimônio. Casos como os da Fazenda Boa Esperança (Magalhães, 2019) e da Gruta Kamukuwaká (Lowe *et al.*, 2019) ilustram como os modelos digitais, quando concebidos com sensibilidade aos contextos sociais e históricos, podem reativar memórias, fortalecer vínculos comunitários e criar novas camadas de significado.

Em suma, o projeto do medalhão, desde seu levantamento até a disponibilização na plataforma *web*, representa um esforço de integração entre rigor técnico, profundidade teórica e acessibilidade. As escolhas feitas, como a modelagem baseada em UEs e o uso de ferramentas abertas e interfaces amigáveis, visaram não apenas documentar o bem patrimonial, mas também explorar novas formas de comunicação e engajamento. As limitações identificadas no processo, como a não modelagem de todas as unidades negativas ou a completa atribuição de atributos às interfaces, configuram, simultaneamente, oportunidades para aprimoramentos futuros, consolidando o caráter evolutivo desta linha de pesquisa no campo do patrimônio cultural.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A presente dissertação teve como objetivo principal propor e analisar a aplicabilidade de uma metodologia de modelagem HBIM fundamentalmente ancorada nos princípios da arqueologia da arquitetura e na decomposição analítica do modelo em UEs. Aqui, a aplicação desta metodologia de modelagem foi realizada na reconstrução digital do medalhão da Igreja de São Francisco de Assis, em Ouro Preto, e a subsequente exploração do potencial de sua integração com uma interface digital interativa. Para melhor organização dos objetivos, adotou-se o DSR como abordagem metodológica, iniciando o desenvolvimento da pesquisa com uma revisão sistemática de literatura que subsidiou a identificação de lacunas conceituais e operacionais no campo e auxiliou na formulação das classes de problemas. A partir das classes de problemas partiu-se para a concepção e o desenvolvimento dos artefatos centrais do estudo. Esses artefatos, compreendidos como construções intencionais dotadas de objetivos específicos para resolver os problemas

identificados, foram delineados como: um novo fluxo de trabalho para a modelagem HBIM baseada em UEs, que busca superar as limitações da modelagem convencional ao integrar as relações estratigráficas para representar a história construtiva do bem; e um protótipo de website com recursos básicos de RA.

Dito isso, retomando brevemente a organização da dissertação aqui apresentada, partiu-se, inicialmente, do desenvolvimento de uma revisão bibliográfica sistemática de escopo amplo, que, embora inicialmente não tivesse uma delimitação muito específica, mostrou-se determinante para a definição do recorte temático central desta dissertação. O levantamento bibliográfico abrangeu estudos sobre HBIM e xR no geral, com o objetivo de investigar como a integração de tecnologias emergentes poderia ampliar o potencial de aplicação do HBIM. A análise da literatura identificou, dentre outras possibilidades, o desenvolvimento de estudos sobre uma abordagem de modelagem baseada em princípios da arqueologia da arquitetura, metodologia que pode contribuir para o aprimoramento dos processos de salvaguarda patrimonial ao incorporar na forma de modelagem, os procedimentos construtivos originais, as características materiais específicas e/ou os efeitos da deterioração temporal.

A decisão de aprofundar esta linha de investigação justificou-se pela constatação de que o enriquecimento informacional de modelos digitais pode ultrapassar a representação geométrica tridimensional convencional, incorporando estas dimensões que se mostram bastante positivas para a documentação patrimonial. Reconhece-se que a salvaguarda patrimonial eficaz pressupõe o conhecimento aprofundado e a documentação sistemática das características histórico-construtivas do bem cultural, procedimentos indispensáveis para garantir a fidedignidade do registro histórico e fundamentar tecnicamente os processos de conservação e restauro. Esta premissa alinha-se aos princípios estabelecidos pelas cartas patrimoniais internacionais, que preconizam a necessidade de documentação como base para qualquer intervenção no patrimônio edificado.

A investigação prosseguiu com o aprofundamento conceitual da arqueologia da arquitetura, disciplina que aplica métodos arqueológicos ao estudo de estruturas construídas, visando identificar os princípios metodológicos desta área que poderiam contribuir para o aprimoramento da modelagem HBIM. Paralelamente, através da análise sistemática da literatura especializada, identificou-se as produções acadêmicas que integram arqueologia da arquitetura e HBIM, focando nas metodologias empregadas e nos procedimentos técnicos adotados em tais trabalhos.

Com base neste levantamento, procedeu-se à aplicação experimental da metodologia por meio de um estudo de caso, reconhecendo que as especificidades de cada objeto patrimonial podem demandar adaptações metodológicas que, por sua vez, geram conhecimento específico e contribuem para o refinamento da abordagem proposta. Para tanto, selecionou-se como objeto de estudo o medalhão ornamental presente na fachada da Igreja de São Francisco de Assis, em Ouro Preto, desenvolvendo-se um modelo digital que incorpora os preceitos metodológicos da arqueologia da arquitetura.

Um ponto a chamar atenção é o fato de que o uso de xR, nos trabalhos levantados, esteve muito comumente associado aos trabalhos que investigaram a respeito da arqueologia da arquitetura com o HBIM. Esta convergência tecnológica pode ser atribuída, primeiramente, à natureza interdisciplinar inerente aos processos de salvaguarda patrimonial, que demanda a participação de profissionais de diferentes especialidades e, conseqüentemente, requer interfaces de acesso diversificadas e intuitivas aos modelos HBIM. Adicionalmente, as tecnologias xR também atendem às demandas de comunicação e divulgação dos resultados obtidos em projetos patrimoniais, aspecto fundamental para a efetividade dos processos de salvaguarda e para o cumprimento dos princípios de socialização do conhecimento patrimonial. Neste contexto, o presente trabalho investigou o potencial de diferentes modalidades de interface usuário-modelo, explorando alternativas tecnológicas que pudessem ampliar a acessibilidade e a interação com os dados patrimoniais digitalizados no estudo de caso do medalhão.

O desenvolvimento desta investigação enfrentou algumas limitações decorrentes das restrições temporais inerentes ao programa de mestrado e da inserção do projeto em uma equipe de trabalho mais ampla, cujos objetivos de pesquisa não coincidiam integralmente com os propósitos desta dissertação. Embora o trabalho colaborativo constitua elemento fundamental nos processos de salvaguarda patrimonial, e a abordagem multidisciplinar represente precisamente uma das justificativas para a criação de interfaces alternativas aos softwares convencionais da indústria AEC, esta condição impôs ajustes metodológicos significativos. A proposta inicial previa o desenvolvimento de um ambiente de xR abrangente para a consolidação e visualização integrada das informações patrimoniais. Contudo, as adaptações necessárias conduziram à adoção de uma solução híbrida, composta por uma aplicação de xR simplificada através do *Sketchfab* e uma plataforma *web* que

centraliza os dados coletados, oferecendo funcionalidades de navegação tridimensional no modelo e acesso unificado às informações técnicas, históricas e diagnósticas referentes ao bem patrimonial.

A cadeia procedimental para o desenvolvimento deste trabalho se fundamentou no processamento de dados coletados por técnicas de sensoriamento remoto, a partir dos quais foi elaborado um modelo tridimensional no *software Blender*, priorizando a máxima qualidade geométrica e fidelidade aos dados de levantamento. Subsequentemente, procedeu-se à segmentação do modelo conforme a composição estrutural do elemento arquitetônico, individualizando cada componente pétreo (em UEs), seguida da conversão para elementos BIM mediante a utilização de extensão específica que confere ao *Blender* funcionalidades de modelagem paramétrica (*BlenderBIM*). A partir disso, nesta plataforma, iniciou-se o processo de identificação sistemática das patologias presentes em cada elemento e a elaboração de um mapeamento tridimensional de danos.

Neste ponto do desenvolvimento, os objetivos deste estudo divergiram das demandas do projeto em que ele está inserido e aqui, o foco foi direcionado para questões relacionadas à interface de usuário e comunicação dos dados patrimoniais. Estabeleceu-se que o modelo HBIM funcionaria como repositório estruturado de informações (*backend*) que alimentaria as interfaces interativas de visualização (*frontend*), configurando uma arquitetura de sistema que separa o processamento e armazenamento de dados da apresentação ao usuário final. Esta conceptualização conduziu à adoção de uma solução composta por um *website* e a plataforma *Sketchfab*, repositório tridimensional amplamente reconhecido por instituições museológicas, de pesquisa patrimonial e científica. A implementação resultou no desenvolvimento de um repositório digital de acesso democrático, direcionado tanto aos profissionais especializados em conservação e restauro quanto ao público interessado na salvaguarda patrimonial.

Entre as potencialidades identificadas na abordagem metodológica adotada, destaca-se que a modelagem por meio de UEs constitui um procedimento de elevada aplicabilidade, proporcionando maior aproximação do modelo à realidade e demonstrando eficácia para processos de conservação e restauração. O próprio processo de desenvolvimento do modelo gerou uma aproximação com o objeto de estudo que permitiu a identificação de questões que, possivelmente, em uma modelagem tradicional não ficariam evidentes. Ao segmentar o modelo em unidades

distintas, foi possível compreender com mais precisão suas etapas de elaboração, identificar patologias e intervenções de forma localizada, e aprofundar o entendimento dos processos construtivos. Essa estrutura analítica foi diretamente influenciada pelos levantamentos realizados e pelos conhecimentos especializados da equipe técnica envolvida, os quais alimentam o modelo com novas interpretações e camadas de informação. Em alguns casos, esse aprofundamento pode até reorientar o próprio processo de modelagem, como quando o surgimento de dados inéditos justifica a definição de uma nova UE.

A criação do *website* visou justamente oferecer um espaço unificado de sistematização e consulta, reunindo informações históricas, iconográficas, diagnósticas e técnicas de modo a preservar a riqueza dos aportes realizados pelos diferentes profissionais envolvidos. Ainda que a integração completa dessas informações ao modelo HBIM não tenha sido possível no tempo de desenvolvimento do mesmo, a plataforma digital desenvolvida cumpre um papel estratégico: garantir a continuidade da socialização do conhecimento produzido, reforçando os princípios de abertura e democratização que nortearam esta investigação desde sua concepção.

Um aspecto metodológico que merece destaque foi a utilização prioritária de um *software* livre e de código aberto, o *Blender*. Essa escolha está de acordo com os princípios que orientaram esta pesquisa, especialmente no que diz respeito à democratização do acesso aos modelos e processos digitais. Além de tornar o conhecimento mais acessível, essa decisão amplia as possibilidades de replicação e adaptação da metodologia proposta em outros contextos, o que contribui para a abertura da ciência e para o fortalecimento das práticas de salvaguarda patrimonial.

Apesar das contribuições alcançadas, há, entretanto, muitas questões que não tiveram o tempo necessário de amadurecimento e desenvolvimento neste trabalho, e que indico aqui como potencial para estudos futuros. Uma das questões é a finalização do modelo HBIM de fato, explorando mais de perto as possibilidades de inserção de informações em formatos diversos no *software* utilizado (*Blender + BlenderBIM*). Abre-se aqui uma oportunidade de retomar brevemente a discussão sobre o que se entende como modelo HBIM. Ao longo desta pesquisa, evidenciou-se que o conceito persiste em um estágio de pré-paradigma, conforme apontado por Zhang *et al.* (2022), caracterizado por disputas conceituais e uma ausência de entendimento unificado.

Buscando fazer uma contribuição a partir da produção dessa dissertação, pode-se dizer que a lógica convencional do HBIM, comumente centrada em representações

geométricas estáticas de elementos construtivos isolados, demonstra limitações em face da complexidade e da natureza estratificada de bens patrimoniais. A abordagem aqui desenvolvida tensiona essa perspectiva ao permitir a possível integração de camadas temporais, intervenções e incertezas interpretativas por meio da modelagem baseada em UEs. Ao superar a mera representação geométrica em prol de uma documentação semântica e contextualizada, esta dissertação sugere que a evolução do HBIM demanda um paradigma que reflita a densidade histórica e a dinâmica dos materiais, indo além de uma visão puramente descritiva para incorporar uma compreensão mais interpretativa e processual, baseados nos conhecimentos da arqueologia da arquitetura, mas aplicando para elementos diversos, mesmo que não sejam considerados arqueológicos.

Outra questão que merece amadurecimento diz respeito ao potencial do modelo IFC de servir como estrutura de base para visualizações interativas em tecnologias como xR, sem necessidade de intermediários ou reprocessamento das informações, visto que no caso do modelo desenvolvido aqui, as informações tiveram de ser re-adicionadas em forma de anotações no *Sketchfab*. Nesse contexto, seria relevante comparar diferentes abordagens de interação com os modelos digitais. Plataformas como *Unreal Engine* e *Unity* oferecem possibilidades de criação de experiências interativas mais complexas, baseadas em programação e personalização avançada. Por outro lado, soluções mais acessíveis como o *Sketchfab*, utilizadas neste estudo, apresentam maior facilidade de implementação e já contribuem para a democratização do acesso ao conhecimento patrimonial. Investigar comparativamente essas alternativas pode ser um caminho para aprofundar a discussão sobre acessibilidade, escalabilidade e aplicabilidade dos modelos desenvolvidos, considerando diferentes públicos e finalidades.

Diante das diversas possibilidades de continuidade (muitas apontadas no tópico 5.12 do capítulo 5), é possível afirmar que o estudo aqui desenvolvido representou um ponto de partida relevante para a experimentação de uma metodologia com grande potencial. O percurso investigativo realizado, embora limitado em termos de escopo e tempo, resultou em contribuições significativas ao propor uma aplicação prática de conceitos oriundos da arqueologia da arquitetura ao campo do HBIM. O que se produziu neste trabalho deve ser compreendido como uma etapa inicial de uma investigação científica em expansão, originada de um questionamento mais amplo e concretizada em um recorte específico. Não houve, em

momento algum, a intenção de esgotar as múltiplas dimensões que envolvem a documentação e a salvaguarda do patrimônio cultural, tampouco de oferecer uma solução definitiva para os desafios que se colocam nesse campo. Os estudos relacionados ao medalhão continuarão a ser desenvolvidos no âmbito do projeto financiado pelo CNPq, ampliando o alcance e a consolidação das abordagens aqui exploradas.

Portanto, esta dissertação partiu de um potencial específico de pesquisa, mas buscou dialogar com questões mais amplas e contribuir com um olhar metodológico novo. Ainda que não tenha sido possível abranger a totalidade do debate, acredita-se que esta pesquisa ocupa uma posição relevante, sobretudo pela escassez, no contexto brasileiro, de estudos científicos voltados à aplicação da modelagem HBIM orientada por princípios da arqueologia da arquitetura. Nesse sentido, acredita-se que este trabalho possa abrir caminhos para reflexões futuras e incentivar a consolidação de uma linha de pesquisa que integre documentação digital, análise estratigráfica e práticas críticas de preservação patrimonial.

## REFERÊNCIAS

- ABRANTES, Andreza Rigo. **Tecnologias digitais como instrumentos de preservação do patrimônio urbano edificado**. 2014. 171 f. Dissertação (Mestrado em Preservação do Patrimônio Cultural) - Iphan, Rio de Janeiro, 2014.
- AMBRÓSIO, Nádia Aparecida. **Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto: Bona Culturalia e Museu Eclesiástico**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Departamento de Museologia da Escola de Direito, Turismo e Museologia, Universidade Federal de Ouro Preto (DEMUT/UFOP), Ouro Preto, 2019. Disponível em: <http://www.monografias.ufop.br/handle/35400000/2153>. Acesso em: 6 ago. 2025.
- AMMIRATI, Luisa *et al.* Dive into Heritage: Paradata and Metadata in an Immersive Digital Heritage Experience. **3D Research Challenges in Cultural Heritage V**, v. 5, p. 36-51, 2025. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-78590-0\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-031-78590-0_4).
- AMORIM, Arivaldo. Methodological Aspects of Architectural Documentation. **Geoinformatics FCE CTU**, v. 6, p. 34-39, 21 dez. 2011. DOI: <https://doi.org/10.14311/gi.6.5>. Acesso em: 30 jul. 2025.
- APOPEI, Andrei-Ionuț *et al.* Digital 3D models of minerals and rocks in a nutshell: enhancing scientific, learning, and cultural heritage environments in geosciences by using cross-polarized light photogrammetry. **Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences**, v. 16, n. 1, p. 237-249, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26471/cjees/2021/016/170>. Acesso em: 30 nov. 2025.
- AWANGE, Joseph L.; KYALO KIEMA, John B. Fundamentals of Photogrammetry. *In*: AWANGE, Joseph L.; KYALO KIEMA, John B. (ed.). **Environmental Geoinformatics: Monitoring and Management**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 157-174. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-34085-7\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-642-34085-7_11).
- BAIK, Ahmad. The Use of Interactive Virtual BIM to Boost Virtual Tourism in Heritage Sites, Historic Jeddah. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 9, p. 577, ago. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10090577>.
- BANFI, F. HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 16–33, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>.
- BANFI, F.; BRUMANA, R.; LANDI, A.G.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F.; STANGA, C. Building Archaeology Informative Modelling turned into 3D volume stratigraphy and extended reality time-lapse communication. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 13, n. 26, p. 1–21, 2022 (a). DOI: <https://doi.org/10.4995/VAR.2022.15313>.
- BANFI, F.; ROASCIO, S.; PAOLILLO, F.R.; PREVITALI, M.; RONCORONI, F.; STANGA, C. Diachronic and Synchronic Analysis for Knowledge Creation: Architectural Representation Geared to XR Building Archaeology (Claudius-Anio Novus Aqueduct in Tor Fiscale, the Appia Antica Archaeological Park). **Energies**, [s. l.], v. 15, n. 13, 2022(b). DOI:10.3390/en15134598.
- BANFI, F.; MANDELLI, A. Computer Vision Meets Image Processing and UAS PhotoGrammetric Data Integration: From HBIM to the eXtended Reality Project of

Arco della Pace in Milan and Its Decorative Complexity. **JOURNAL OF IMAGING**, [s. l.], v. 7, n. 7, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging7070118>.

BANFI, Fabrizio. HBIM, 3D drawing and virtual reality for archaeological sites and ancient ruins. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 11, n. 23, p. 16, 8 jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2020.12416>.

BANFI, Fabrizio. The Evolution of Interactivity, Immersion and Interoperability in HBIM: Digital Model Uses, VR and AR for Built Cultural Heritage. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 10, n. 10, p. 685, 11 out. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi10100685>.

BANFI, Fabrizio; BRUMANA, Raffaella; LANDI, Angelo Giuseppe; PREVITALI, Mattia; RONCORONI, Fabio; STANGA, Chiara. Building archaeology informative modelling turned into 3D volume stratigraphy and extended reality time-lapse communication. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 13, n. 26, p. 1–21, 21 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2022.15313>.

BANFI, Fabrizio; BRUMANA, Raffaella; STANGA, Chiara. Extended reality and informative models for the architectural heritage: from scan-to-BIM process to virtual and augmented reality. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 10, n. 21, p. 14, 25 jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2019.11923>.

BANFI, Fabrizio; MANDELLI, Alessandro. Computer Vision Meets Image Processing and UAS PhotoGrammetric Data Integration: From HBIM to the eXtended Reality Project of Arco della Pace in Milan and Its Decorative Complexity. **Journal of Imaging**, [s. l.], v. 7, n. 7, p. 118, 16 jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/jimaging7070118>.

BANFI, Fabrizio; ROASCIO, Stefano; MANDELLI, Alessandro; STANGA, Chiara. Narrating Ancient Roman Heritage through Drawings and Digital Architectural Representation: From Historical Archives, UAV and LIDAR to Virtual-Visual Storytelling and HBIM Projects. **Drones**, [s. l.], v. 7, n. 1, p. 51, 11 jan. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7010051>.

BANFI, Fabrizio; ROASCIO, Stefano; PAOLILLO, Francesca Romana; PREVITALI, Mattia; RONCORONI, Fabio; STANGA, Chiara. Diachronic and Synchronic Analysis for Knowledge Creation: Architectural Representation Geared to XR Building Archaeology (Claudius-Anio Novus Aqueduct in Tor Fiscale, the Appia Antica Archaeological Park). **Energies**, [s. l.], v. 15, n. 13, p. 4598, 23 jun. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15134598>.

BANFI, Fabrizio; STANGA, Chiara; LANDI, Angelo. Virtual access to heritage through scientific drawing, semantic models and VR-experience of the Stronghold of Arquata del Tronto after the earthquake. **SCIRES-IT - SCientific REsearch and Information Technology**, [s. l.], v. 13, n. 1, 29 jun. 2023. DOI 10.2423/i22394303v13n1p83.

BANFI; PAOLILLO, F.R.; SPALLINO, C.; VISKOVIC, A.; ANTONELLI, L. Enhancing archaeological knowledge dissemination: the pivotal role of digital representation and BIM interoperability for preservation, FEA, and XR of Villa dei Quintili in Rome. **DISEGNARECON**, [s. l.], v. 16, 2023. DOI 10.20365/DISEGNARECON.30.2023.25. Disponível em: <https://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/1119>. Acesso em: 11 set. 2024.

BARDESCHI, Chiara Dezzi. **Archeologia e Conservazione: teorie, metodologie e pratiche di cantiere**. Santarcangelo di Romagna: Maggioli, 1988.

BARSANTI, S. Gonizzi; GINER, S.; ROSSI, A. HBIM FROM A FIRST CENTURY ICONOGRAPHY. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s. l.], v. XLVI-2-W1-2022, p. 231–238, 25 fev. 2022. Disponível em: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVI-2-W1-2022/231/2022>. Acesso em: 06 ago. 2025.

BECHLER, R. R.; SALES PEREIRA, J. Ouro Preto de todos os tempos: sentidos e efeitos do patrimônio na condição histórica da cidade. **Revista História Hoje**, [S. l.], v. 3, n. 6, p. 67–90, 2015. DOI: 10.20949/rhhj.v3i6.157. Disponível em: <https://rhhj.anpuh.org/RHHJ/article/view/157>. Acesso em: 6 ago. 2025.

BELLO, Saifullahi Aminu; YU, Shangshu; WANG, Cheng; ADAM, Jibril Muhmmad; LI, Jonathan. Review: Deep Learning on 3D Point Clouds. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 12, n. 11, p. 1729, jan. 2020. <https://doi.org/10.3390/rs12111729>.

BELTRAMO, S. **Stratigrafia dell'architettura e ricerca storica**. Roma: Carocci editore, 2009

BOATO, Anna. Conoscenza e conservazione dell'architettura storica: il contributo dell'archeologia dell'architettura. In: FALCIDIENO, Maria Linda (org.). **Le scienze per l'architettura: frammenti di sapere**. Firenze: Alinea, 2010.

BOATO, Anna. Ricostruire la storia degli edifici tramite l'archeologia dell'arquitettura. In MUSSO, Stefano F. **Recupero e restauro degli edifici storico**: guida pratica al rilievo e alla diagnostica. Roma: EPC libri, p. 287 -379, 2004.

BOATO, Anna; GROTTIN, Flavia Varaldo (Orgs.). **Genova. Archeologia della città. Palazzo Ducale**. Genova: Sagep, 1992.

BOLOGNESI, Cecilia Maria; FIORILLO, Fausta. Virtual Representations of Cultural Heritage: Sharable and Implementable Case Study to Be Enjoyed and Maintained by the Community. **Buildings**, [s. l.], v. 13, n. 2, p. 410, 2 fev. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings13020410>.

BORKOWSKI, Andrzej Szymon. Evolution of BIM: epistemology, genesis and division into periods. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, [s. l.], v. 28, n. 34, p. 646–661, 7 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2023.034>.

BRASIL. **Decreto nº 11.888, de 22 de janeiro de 2024**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling - BIM BR. [S. l.], 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 1 de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, 2021.

BRESSAN, Nicolò Maria; SCARPA, Massimiliano; PERON, Fabio. Case studies of eXtended reality combined with Building Information Modeling: A literature review. **Journal of Building Engineering**, [s. l.], v. 84, p. 108575, maio 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.job.2024.108575>.

BRUMANA, R. How to Measure Quality Models? Digitization into Informative Models Re-use. In: IOANNIDES, M.; PATIAS, P. (org.). **3D Research Challenges in Cultural**

**Heritage III**. Cham: Springer, 2023. (Lecture Notes in Computer Science, v. 13125). DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-35593-6\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-35593-6_5).

BRUNO, Silvana; SCIOTI, Albina; PIERUCCI, Alessandra; RUBINO, Rocco; DI NOIA, Tommaso; FATIGUSO, Fabio. VERBUM – virtual enhanced reality for building modelling (virtual technical tour in digital twins for building conservation). **Journal of Information Technology in Construction**, [s. l.], v. 27, p. 20–47, 5 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.36680/j.itcon.2022.002>.

CANDELLO, Heloisa. Recomendações para o design de textos e hiperlinks em aplicativos móveis culturais. **InfoDesign - Revista Brasileira de Design da Informação**, [s. l.], v. 10, n. 3, p. 262–273, 28 dez. 2013. DOI: <https://doi.org/10.51358/id.v10i3.184>.

CANUTO, C. L. **Modelo BIM e proposta de intervenção do Palácio Gustavo Capanema**. 2017. Dissertação (Mestrado Profissional em Projeto e Patrimônio) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHAGAS, Mario de Souza. Em busca do documento perdido: a problemática da construção teórica na área da documentação. **Cadernos de museologia nº 2**: [s. n.], 1994. Disponível em: <https://recil.ulusofona.pt/server/api/core/bitstreams/61ede151-0e80-4213-ad97-33ebdb9fb762/content>. Acesso em: 17 jun. 2025.

CLINI, Paolo; QUATTRINI, Ramona; MARIOTTI, Chiara; NESPECA, Romina; DE LUCA, Daniele Arturo. From point cloud data to HBIM for public performance spaces knowledge, management and storytelling: Palazzo Olivieri in Pesaro. **DisegnareCon**, [s. l.], v. 31, 2023. DOI: <https://doi.org/10.20365/disegnarecon.31.2023.3>.

COSTA, Heliara; SOUZA, MARCIO PRESENTE DE; QUINILATO BALDESSIN, GUILHERME; ALBANO, GABRIELA; MINTO FABRÍCIO, MARCIO. Modelagem BIM para registro digital do patrimônio arquitetônico moderno. **Revista Projetar - Projeto e Percepção do Ambiente**, [S. l.], v. 6, n. 1, p. 49–68, 2021. DOI: 10.21680/2448-296X.2021v6n1ID21331. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/revprojetar/article/view/21331>. Acesso em: 24 jul. 2025.

COSTA, R. V. Requisitos e princípios do processo de registro do patrimônio cultural imaterial brasileiro. In: Gilmara Benevides; Walter Lowande. (Org.). **Estudos críticos de patrimônio** : abordagens transnacionais. 1ed. São Paulo: Tirant lo Blanch, 2024, v. , p. 143-180.

COSTA, Stael; BARCI CASTRIOTA, Leonardo; SALGADO, Marina. The World Heritage site of Ouro Preto. **Facilities**, [s. l.], v. 29, n. 7/8, p. 339–351, 24 maio 2011. DOI: <https://doi.org/10.1108/02632771111130942>.

CRAIG, Alan B. What Is Augmented Reality? In: CRAIG, Alan B. (org.). **Understanding Augmented Reality**. Boston: Morgan Kaufmann, 2013. p. 1–37. DOI 10.1016/B978-0-240-82408-6.00001-1. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780240824086000011>. Acesso em: 12 dez. 2024.

CRAIG, Alan B. What Is Augmented Reality? In: CRAIG, Alan B. (org.). **Understanding Augmented Reality**. Boston: Morgan Kaufmann, 2013. p. 1–37.

DOI 10.1016/B978-0-240-82408-6.00001-1. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780240824086000011>. Acesso em: 12 dez. 2024.

CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy et al. Casa de Vidro BIM e Gestão do Patrimônio. 2018: **Cadernos PROARQ**. Disponível em: [https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Pr\\_oarq30%20ART%2009.pdf](https://cadernos.proarq.fau.ufrj.br/public/docs/Pr_oarq30%20ART%2009.pdf). Acesso em: 22 mar. 2021.

DE LUCA, Livio; VÉRON, Philippe; FLORENZANO, Michel. A generic formalism for the semantic modeling and representation of architectural elements. **The Visual Computer**, [s. l.], v. 23, n. 3, p. 181–205, 7 fev. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00371-006-0092-5>.

DEMETRESCU, Emanuel. Archaeological stratigraphy as a formal language for virtual reconstruction. Theory and practice. **Journal of Archaeological Science**, [s. l.], v. 57, p. 42–55, maio 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jas.2015.02.004>.

DENARD, Hugh. **The London charter for the computer-based visualization of cultural heritage**, 2009. Draft 2.1. Londres: King's College London, 2009. 13 p. Disponível em: <http://www.londoncharter.org/downloads.html>. Acesso em: 3 ago. 2025

DI IORIO, Federico; FIOCCO, Giacomo; ANGELONI, Riccardo; ES SEBAR, Leila; CROCI, Sara; CACCIATORI, Fausto; MALAGODI, Marco; POZZI, Federica; GRASSINI, Sabrina. Violins Unveiled: A Photogrammetric Framework Integrating Multiband and Spectroscopic Data for In-Depth Examination of Two Musical Instruments. **Sensors**, [s. l.], v. 25, n. 11, p. 3278, 23 maio 2025. DOI: <https://doi.org/10.3390/s25113278>.

DOCAMPO, Mariluz; PEÑA-VILLASENÍN, Simón; ORTIZ-SANZ, Juan. An accessible, agile and low-cost workflow for 3D virtual analysis and automatic vector tracing of engravings: Atlantic rock art analysis. **Archaeological Prospection**, [s. l.], v. 27, n. 2, p. 153–168, abr. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/arp.1760>.

DODEBEI, V. Tempos memoriais e patrimoniais: notas de pesquisa sobre memória e informação. In: NETTO, C. (Ed.). **Informação, Patrimônio e Memória: diálogos interdisciplinares**. João Pessoa: Editora da UFPB, 2015.

DOGLIONI, Francesco. **Nel restauro. Progetti per le architetture del passato**. [S. l.]: ITA, 2008. Disponível em: <https://air.iuav.it/handle/11578/5961>. Acesso em: 25 jun. 2025.

DOGLIONI, Francesco. Ruolo e salvaguardia delle evidenze stratigrafiche nel progetto e nel cantiere di restauro. **Arqueología de la Arquitectura**, [s. l.], n. 1, p. 113–130, 30 dez. 2002. <https://doi.org/10.3989/arq.arqt.2002.10>.

ETERO, Leonardo. O medalhão de Aleijadinho da igreja de São Francisco de Assis de Ouro Preto. In: FERREIRA-ALVES, Natália Marinho (org.). **Os Franciscanos no Mundo Português II: As Veneráveis Ordens Terceiras de São Francisco**. Porto: CEPESE, 2012. p. 151–162.

FERRETTI, Umberto; QUATTRINI, Ramona; D'ALESSIO, Mirco. A comprehensive HBIM to XR framework for museum management and user experience in Ducal

Palace at Urbino. **Heritage**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 1551–1571, 5 jul. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/heritage5030081>

FIORINO, D. R. Stratigraphy and analysis of interfaces for the preservation of architectural heritage. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 755–766, 31 out. 2015. DOI: <https://doi.org/10.2495/sdp-v10-n5-755-766>

FRANCOVICH, R. Archeologia e Restauro dei monumenti. Nota introduttiva. In: FRANCOVICH, R.; PARENTI, R. **Archeologia e restauro dei monumenti**. Firenze: All'Insegna del Giglio, 1988.

FREITAS, C. A. da C.; XAVIER JUNIOR, E. D.; SILVA, A. B. A. da. Desconstrução da forma, em nuvem de pontos, para a construção de informação: um estudo aplicado em HBIM. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, [s. l.], v. 17, n. 13, p. e13607, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.13-211. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/13607>. Acesso em: 24 jul. 2025.

FREITAS, Pedro Murilo Gonçalves de. **O desenho e o reconhecimento do objeto histórico**: os princípios metodológicos do projeto de restauro arquitetônico. 2012. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2012.

FRONER, Y. A.; DE BARROS GONÇALVES, W.; SOUZA, L. A. C.; COSTA, A. G.; ROSADO, A.; CUPERSCHMID, A. R.; WALTER, G.; MIRANDA, A. C.; MICHELIN, G.; MONTALVÃO, A. C.; HARDY, T. Data Collection for Cultural Heritage Risk Management: the *Damage Map through Heritage Building Information Modeling (HBIM)* Project Applied to the Façade of St Francis of Assisi, Ouro Preto, Brazil. **Studies in Conservation**, [s. l.], v. 69, n. sup1, p. 98–107, 2024.

GALVÃO, Taís Freire; PEREIRA, Mauricio Gomes. Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 23, n. 1, p. 183–184, mar. 2014.

GARCÍA, Elena; GARCÍA-VALLDECABRES, Jorge; BLASCO, María José. The use of HBIM models as a tool for dissemination and public use management of historical architecture: A review. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, [s. l.], v. 13, n. 01, p. 96–107, 1 jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.2495/SDP-V13-N1-96-107>.

GARCÍA-BUSTOS, Miguel; RIVERO, Olivia; GARCÍA BUSTOS, Paula; MATEOPELLITERO, Ana María. From the cave to the virtual museum: accessibility and democratisation of Franco-Cantabrian Palaeolithic art. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 14, n. 28, p. 54–64, 6 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2023.17684>

GENOVEZ, Sarita Carneiro. **Análise estratigráfica: uma contribuição ao projeto de restauro**. 2012. 210 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (Orgs.). **Métodos de pesquisa**. Rio Grande do Sul: Ed. da UFRGS, 2009. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/52806>. Acesso em: 30 ago. 2024.

GHARIB, Mohamed; ABOUSHAL, Esraa. Restoration and Development of Urban Heritage Sites (Rehabilitation of Middle cities and Heritage towns). **Engineering Research Journal**, [s. l.], v. 167, n. 0, p. 52–74, 1 set. 2020. DOI: <https://doi.org/10.21608/erj.2020.139530>.

LE GOFF, Jacques. **História e Memória**. Campinas - SP: Editora da UNICAMP, 1990.

GOMIDE, José Hailon; SILVA, Patrícia Reis da; BRAGA, Sylvia Maria Nelo. **Manual de elaboração de projetos de preservação do patrimônio cultural**: Programa Monumenta. [s. l.], 2005. Disponível em: <https://bibliotecadigital.iphan.gov.br/handle/123456789/490>. Acesso em: 6 ago. 2025.

GOULART, Elias Estevão; PERAZZO, Priscila Ferreira. HiperMemo: a hipermídia e a memória no mundo digital | HiperMemo: hypermedia and memory in the digital world. **Liinc em Revista**, [s. l.], v. 11, n. 1, 28 maio 2015. DOI 10.18617/liinc.v11i1.776. Disponível em: <http://revista.ibict.br/liinc/article/view/3616>. Acesso em: 28 maio 2025.

GRILLI, Eleonora; REMONDINO, Fabio. Classification of 3D Digital Heritage. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 11, n. 7, p. 847, 8 abr. 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11070847>.

GROETELAARS, Natalie Johanna. **Um Estudo da Fotogrametria Digital na documentação de formas arquitetônicas e urbanas**. 2004. 257 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2004.

GROETELLARS, Natalie Johanna. **Criação de Modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”**: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

HARDY, Tiago de Castro; GONÇALVES, Willi de Barros; FRONER, Yacy-ara. Aerial photogrammetry for monitoring construction pathologies using pixel-based fuzzy logic, case study: Igreja da Pampulha. **Architecture, Structures and Construction**, [s. l.], v. 5, n. 1, p. 22, 26 mar. 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s44150-025-00144-4>.

HARRIS, Edward C. **Principles of archaeological stratigraphy**. 2nd ed. London San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, 1989.

HARRIS, Edward C. **Principles of archaeological stratigraphy**. 2nd ed. London San Diego: Harcourt Brace Jovanovich, 1989.

HEVNER, A. R.; MARCH, S.T.; PARK, J. Design Science in Information Systems Research. **MIS Quarterly**, [s. l.], v. 28, n. 1, p. 75, 2004. DOI: <https://doi.org/10.2307/25148625>.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **Carta de Veneza**, 1964. Tradução Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura. Brasília: IPHAN, 2000. 4 p. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 29 mar. 2025.

ICOMOS. Conselho Internacional de Monumentos e Sítios. **Declaração de São Paulo**, 1989. Tradução Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura. Brasília: IPHAN, 2000. 2 p. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 30 mar. 2017.

INGOLD, Tim. Materials against materiality. **Archaeological Dialogues**, [s. l.], v. 14, n. 1, p. 1–16, jun. 2007. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1380203807002127>.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19650 - 1: 2018**. Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:19650:-1:ed-1:v1:en>. Acesso em: 02 fev. 2021.

JERALD, Jason. **The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality**. [S. l.]: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2015.

JOKILEHTO, Jukka. **A history of architectural conservation**. Oxford: Butterworth & Heinemann, ICCROM, 1998.

JUNQUEIRA, Vanessa. **Capela da Ordem Terceira de São Francisco de Assis de Ouro Preto: um guia comentado**. 2006. 2446 f. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de História do Instituto de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP, 2006.

KIA, S. Review of Building Information Modeling (BIM) Software Packages Based on Assets Management. In: **Introduction to Building Information Modeling (BIM)**. [S. l.]: Amirkabir University of Technology, 2013.

KÜHL, Beatriz Mugayar. Notas sobre a Carta de Veneza. **Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 287–320, dez. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/s0101-47142010000200008>.

LACERDA, Daniel Pacheco; DRESCH, Aline; PROENÇA, Adriano; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 20, n. 4, p. 741–761, 26 nov. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2013005000014>.

LE GOFF, Jacques. **História e memória**. Campinas: Ed. da Unicamp, 1990 [1988]

LEE, Jongwook; KIM, Junki; AHN, Jaehong; WOO, Woontack. Context-aware risk management for architectural heritage using historic building information modeling and virtual reality. **Journal of Cultural Heritage**, [s. l.], v. 38, p. 242–252, jul. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.12.010>.

LÉVY, Pierre. **O que é o virtual?**. 2ª. ed. [S. l.]: Editora 34, 2011. 160 p. ISBN 978-8573260366.

LIN, Guiye; LI, Guokai; GIORDANO, Andrea; SANG, Kun; STENDARDO, Luigi; YANG, Xiaochun. Three-Dimensional Documentation and Reconversion of Architectural Heritage by UAV and HBIM: A Study of Santo Stefano Church in Italy. **Drones**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 250, 6 jun. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones8060250>.

LOMBARDI, Matteo; RIZZI, Dario. Semantic modelling and HBIM: A new multidisciplinary workflow for archaeological heritage. **Digital Applications in**

**Archaeology and Cultural Heritage**, [s. l.], v. 32, p. e00322, mar. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.daach.2024.e00322>.

LOWE, A. (Org.). **A Gruta de Kamukuwaká: a preservação de culturas Indígenas no Brasil**. [S.l.]: Factum Foundation for Digital Technology in Conservation, 2019. Disponível em: [https://www.factum-arte.com/resources/files/ff/publications\\_PDF/the\\_sacred\\_cave\\_of\\_kamukuwaka\\_book\\_2019.pdf](https://www.factum-arte.com/resources/files/ff/publications_PDF/the_sacred_cave_of_kamukuwaka_book_2019.pdf). Acesso em: 04. Jun. 2025.

MAGALHÃES, Leandro. **FAZENDA BOA ESPERANÇA: reconstrução digital de espaços e memória dos escravizados**. 2024. 341 f. Tese – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2024.

MALEWCZYK, Michał. The usage of the openBIM idea in architectural design on the example of Blender and BlenderBIM add-on. **Architectus**, [s. l.], n. 2(66), 2021. DOI 10.37190/arc210210. Disponível em: [http://www.architectus.pwr.edu.pl/files/numery/66\\_10.pdf](http://www.architectus.pwr.edu.pl/files/numery/66_10.pdf). Acesso em: 25 jun. 2025.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 251–266, dez. 1995. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).

MARTINS, Gisele. **Sistematização da informação para documentação e preservação do patrimônio cultural edificado: meios e tecnologias**. 2023. Mestrado em Teoria e História da Arquitetura e do Urbanismo – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2023. DOI 10.11606/d.102.2023.tde-28062024-170446. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102132/tde-28062024-170446/>. Acesso em: 6 ago. 2025.

MCKENZIE, Theodore. **Historians Are Concerned about Epic Games' Sketchfab to Fab Migration**. 2024. **80.lv**. Disponível em: <https://80.lv/articles/historians-are-concerned-about-epic-games-sketchfab-to-fab-migration>. Acesso em: 6 jun. 2025.

MICHAILIDOU, Ioanna; VON SAUCKEN, Constantin; LINDEMANN, Udo. How to Create a User Experience Story. In: MARCUS, Aaron (org.). **Design, User Experience, and Usability. Design Philosophy, Methods, and Tools**. Lecture Notes in Computer Science. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. v. 8012, p. 554–563. DOI 10.1007/978-3-642-39229-0\_59. Disponível em: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39229-0\\_59](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-39229-0_59). Acesso em: 25 jun. 2025.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E SERVIÇOS. Comitê gestor da Estratégia BIM BR. **PLANO de Trabalho NOVA BIM BR**. Brasília: [s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/sdic/building-information-modelling-bim/plano-nova-bim-br-v3.pdf>. Acesso em: 20 maio 2025.

MOURA, L. R. **Virtualidades paisagísticas: experimentar (re)criações**. 2023. 181 f. Tese de doutorado - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG 2023. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/65267?locale=pt\\_BR](https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/65267?locale=pt_BR). Acesso em: 20 jun. 2024.

MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 311–327, 27 ago. 2009. DOI: <https://doi.org/10.1108/02630800910985108>.

MURPHY, Maurice; MCGOVERN, Eugene; PAVIA, Sara. Historic Building Information Modelling – Adding intelligence to laser and image based surveys of European classical architecture. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 76, p. 89–102, fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2012.11.006>.

NAJJAR, Rosana; DUARTE, Maria Cristina Coelho. Manual de Arqueologia Histórica em Projetos de Restauração. **Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional - IPHAN**, p. 83, 2002. Disponível em: [http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Man\\_ArqueologiaHistoricaProjetosRestauracao\\_1edicao\\_m.pdf](http://portal.iphan.gov.br/uploads/publicacao/Man_ArqueologiaHistoricaProjetosRestauracao_1edicao_m.pdf). Acesso em: 3 ago. 2025.

NATAL, Caion. **Ouro Preto: a construção de uma cidade histórica, 1891-1933**. 2007. Mestre em História – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2007. DOI 10.47749/t/unicamp.2007.387364. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=495137>. Acesso em: 6 ago. 2025.

NAVARRO, Pilar Chías. Documentar, estudiar y difundir el patrimonio: Posibilidades, criterios y retos. **VLC arquitectura. Research Journal**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 153–175, 31 out. 2023. DOI: <https://doi.org/10.4995/vlc.2023.19657>.

OCAMPO, Liana T. R. Curso de Mestrado em Administração de Centros Culturais: esquema conceitual. **Apontamentos Memória & Cultura**, Rio de Janeiro, v. 2, n.1, p. 1-8, 1991

OLIVEIRA, Marcelo. Os contratos de São Francisco de Assis de Ouro Preto: considerações sobre a qualidade construtiva de seu edifício. *In*: ALVES, Natália (org.). **Os Franciscanos no Mundo Português II As Veneráveis Ordens Terceiras de São Francisco**. [S. l.]: CEPESE - Centro de Estudos da População, Economia e Sociedade, 2012.

OLIVEIRA, Mário Mendonça De. **A Documentação Como Ferramenta De Preservação Da Memória: Cadastro, Fotografia, Fotogrametria E Arqueologia**. [S. l.]: Iphan, 2008(Programa Monumenta: Série Cadernos Técnicos).

OLIVEIRA, Myriam Andrade Ribeiro de & Santos Filho, Olinto Rodrigues dos & Santos, Antônio Fernando Batista dos. **O Aleijadinho e sua Oficina**. São Paulo: Capivara, 2003.

OSELLO, Anna; LUCIBELLO, Greta; MORGAGNI, Francesco. HBIM and Virtual Tools: A New Chance to Preserve Architectural Heritage. **Buildings**, [s. l.], v. 8, n. 1, p. 12, 19 jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings8010012>.

PAGE, Matthew J. *et al.* A declaração PRISMA 2020: diretriz atualizada para relatar revisões sistemáticas. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, [s. l.], v. 31, n. 2, jul. 2022. DOI 10.5123/S1679-49742022000200033. Disponível em: [http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso&tling=pt](http://scielo.iec.gov.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1679-49742022000201700&lng=pt&nrm=iso&tling=pt). Acesso em: 16 jan. 2024.

PARENTI, R. Sulle possibilità di datazione e di classificazione delle murature. *In*: FRANCOVICH, R.; PARENTI, R. **Archeologia e restauro dei monumenti**. Firenze: All’Insegna del Giglio, 1988.

PEREIRA FILHO, Hilário Figueiredo. Documentação. In: REZENDE, Maria Beatriz; GRIECO, Bettina; TEIXEIRA, Luciano; THOMPSON, Analucia (Orgs.). **Dicionário IPHAN de Patrimônio Cultural**. Rio de Janeiro, Brasília: IPHAN/DAF/Copedoc, 2015. (verbete). ISBN 978-85-7334-279-6

PESAVENTO, Sandra. Com os olhos no passado: a cidade como palimpsesto.

**Esboços**: histórias em contextos globais, [S. l.], v. 11, n. 11, p. pp. 25–30, 2004.

Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/esbocos/article/view/334>. Acesso em: 6 ago. 2025.

PETTICREW, Mark; ROBERTS, Helen. **Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide**. 1. ed. [S. l.]: Wiley, 2006. DOI

10.1002/9780470754887. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470754887>. Acesso em: 15 jan. 2024.

PIFANO, Raquel Quinet. O Espaço na Obra de Aleijadinho: Simbólico ou

Perspectivado? In: CESÁRIO, Wellington; MANSUR Mônica; PAULA, Marcus Vinícius de (orgs.). Tradição e Inovação. **Anais do 5.º Encontro do Mestrado em História da Arte**. Rio de Janeiro: UFRJ, EBA. p. 351-356, 1997.

POCOBELLI, D. Ph.; BOEHM, J.; BRYAN, P.; STILL, J.; GRAU-BOVÉ, J. Building information models for monitoring and simulation data in heritage buildings. In:

**International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS ARCHIVES 2018**, Anais [...]. [S. l.: s. n.] p. 909–916.

DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-909-2018>.

RAFEIRO, Jesse; TOMÉ, Ana; NAZÁRIO, Maria. Immersive Learning for Lost

Architectural Heritage: Interweaving the Past and Present, Physical and Digital in the Monastery of Madre de Deus. **Sustainability**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 1156, 30 jan. 2024.

DOI: <https://doi.org/10.3390/su16031156>.

RAJABOV, S. B. The role of backend and frontend information systems

infrastructure. **Science and Education**, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 212–216, 2023.

Disponível em: <https://openscience.uz/index.php/sciedu/article/view/5338>. Acesso em: 6 ago. 2025.

RAPHAEL, Dalton A. Igreja da Ordem Terceira de São Francisco de Assis de Ouro

Preto. In: FERREIRA-ALVES, Natália Marinho (org.). **Os Franciscanos no Mundo Português**: Artistas e Obras. Porto: CEPESE, 2009, p. 71-80.

RAUSCHNABEL, Philipp A.; FELIX, Reto; HINSCH, Chris; SHAHAB, Hamza; ALT, Florian. What is XR? Towards a Framework for Augmented and Virtual Reality.

**Computers in Human Behavior**, [s. l.], v. 133, p. 107289, ago. 2022. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107289>.

RIZZUTTO, Marcia Almeida. Métodos físicos e químicos para estudo de bens

culturais. **Revista Cadernos do Ceom**, [s. l.], v. 28, n. 43, p. 67–76, 3 dez. 2015. .

ROLLA, Giovanni; VASCONCELOS, Guilherme; FIGUEIREDO, Nara. Virtual Reality, Embodiment, and Allusion: an Ecological-Enactive Approach. **Philosophy &**

**Technology**, [s. l.], v. 35, 20 out. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13347-022-00589-1>.

ROSA, Tiago. **Antônio Rodrigues Bello: As bases da pintura de Falsa Arquitetura na Capitania do Ouro no século XVIII**. 2022. Dissertação de Mestrado apresentado ao Departamento de Pós-Graduação em História da Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

ROUSSOU, Maria; KATIFORI, Akrivi. Flow, Staging, Wayfinding, Personalization: Evaluating User Experience with Mobile Museum Narratives. **Multimodal Technologies and Interaction**, [s. l.], v. 2, n. 2, p. 32, 11 jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/mti2020032>.

SÁNCHEZ; FRANCO, P.A.; DE LA PLATA, A.R. Achieving Universal Accessibility through Remote Virtualization and Digitization of Complex Archaeological Features: A Graphic and Constructive Study of the Columbarios of Merida. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 14, n. 14, p. 3319, 10 jul. 2022. <https://doi.org/10.3390/rs14143319>.

SAVINI F.; MARRA A.; RUGGIERI A. Digitization of historical architectural elements, a workflow for knowledge of minor centers in inner areas. **Disegnarecon**, [s. l.], 2021. DOI 10.20365/DISEGNARECON.26.2021.9. Disponível em: <http://disegnarecon.univaq.it/ojs/index.php/disegnarecon/article/view/826>. Acesso em: 11 set. 2024.

SCHULLER, Manfred. **Building archaeology**. Paris: ICOMOS - International Council Monuments and Sites, 2002(Monuments and sites. Monuments et sites. Monumentos y sitios / / Manfred Schuller, 7).

SCHWENGBER, Valdir Luiz. Novas tecnologias de informação e arqueologia: contribuições para a educação patrimonial. **Tecnologia e Ambiente**, [S. l.], v. 17, 2013. Disponível em: <https://periodicos.unesc.net/ojs/index.php/tecnoambiente/article/view/1211>. Acesso em: 6 ago. 2025.

SILVA, Stevan Bernardino; GARCIA, Cássio. Competição tecnológica: estudo das terminologias, dos conceitos e dos casos. **Horizonte Científico**, [s. l.], v. 11, n. 1, 31 maio 2017. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/horizontecientifico/article/view/33490>. Acesso em: 12 dez. 2024.

SIMON, Herbert A. **The sciences of the artificial**. 3rd ed. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1996.

SOUZA, Willian Eduardo Righini de; CRIPPA, Giulia. O Patrimônio como processo: uma ideia que supera a oposição material-imaterial. **Em Questão**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 237-251, jul./dez. 2011

STANGA, C. Stratigraphic units inside heritage building information model: a novel approach for the representation of building archaeology. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s. l.], v. XLVIII-M-2–2023, p. 1519–1526, 26 jun. 2023. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xxviii-m-2-2023-1519-2023>.

STANGA, Chiara; BANFI, Fabrizio; ROASCIO, Stefano. Enhancing Building Archaeology: Drawing, UAV Photogrammetry and Scan-to-BIM-to-VR Process of

Ancient Roman Ruins. **Drones**, [s. l.], v. 7, n. 8, p. 521, 9 ago. 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/drones7080521>.

STATHAM, Nataska. Scientific rigour of online platforms for 3D visualization of heritage. **Virtual Archaeology Review**, [s. l.], v. 10, n. 20, p. 1, 28 jan. 2019. DOI: <https://doi.org/10.4995/var.2019.9715>.

TINI, Maria Alessandra; FORTE, Anna; GIRELLI, Valentina Alena; LAMBERTINI, Alessandro; ROGGIO, Domenico Simone; BITELLI, Gabriele; VITTUARI, Luca. Scan-to-HBIM-to-VR: An Integrated Approach for the Documentation of an Industrial Archaeology Building. **Remote Sensing**, [s. l.], v. 16, n. 15, p. 2859, 5 ago. 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs16152859>.

TOFANI, Frederico de Paula. **Erejakasó Piáng?** As Culturas Sambaqueira, Aratu, Tupiguarani e Portuguesa e a Produção do Espaço do Extremo Sul da Bahia, Brasil. 2008. 533p. Tese Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/MPBB-7TJKXF>. Acesso em: 09 nov. 2023.

TOFANI, Frederico de Paula. Teorias e práticas contemporâneas de restauração, reabilitação e requalificação do patrimônio cultural edificado: uma experiência de ensino de pós-graduação interdisciplinar. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável**, v.11, n.2, p.1-25, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/forumpatrimo/article/view/34374>. Acesso em: 09 nov. 2023.

TOLENTINO, Mônica Martins Andrade. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. 2018. 330 f. Tese (Doutorado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Bahia, Salvador-BA, 2018.

UNESCO. Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **Conferência de Nara**, 1994. Tradução Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional. Ministério da Cultura. Brasília: IPHAN, 2000. 14 p. Disponível em: <http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/226>. Acesso em: 01 mar. 2025.

VASCONCELOS, Guilherme Nunes de. Atmospheres of Immersion: Designing and Experiencing in Architecture and Virtual Reality. [s. l.], 28 out. 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/38860>. Acesso em: 7 ago. 2023.

VASCONCELOS, Guilherme. A potência das atmosferas para a realidade virtual: conceituação teórica e apresentação de duas experiências imersivas. **8º Congresso Internacional de Arte, Ciência e Tecnologia e Seminário de Artes Digitais 2023 (8º CIACT-SAD 2023)**, [s. l.], 2023.

VILLELA, Ana Teresa Cirigliano. **Arqueologia da Arquitetura (AA)**. 2015. 262 f. Dissertação de Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2015. DOI 10.47749/T/UNICAMP.2015.954871. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=466025>. Acesso em: 3 fev. 2025.

VILLELA, Ana Teresa Cirigliano; TIRELLO, Regina Andrade. Estudos diagnósticos em Arqueologia da Arquitetura: uma investigação sobre as possibilidades do

“Método Harris” para o estabelecimento de cronologias construtivas – Lidgerwood (Campinas). **III Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo arquitetura, cidade e projeto: uma construção coletiva**, [s. l.], 2014. .

VIZIOLI, Simone Helena Tanoue; IPPOLITO, Alfonso; MARTINS, Gisele; PAZETI, Gabriel; FERREIRA, Giovana Alves; LIMA, Eduardo Galbes Breda de. As interoperabilidades no processo da documentação e comunicação do patrimônio cultural. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Carlos, v. 18, n. 2, p. 27–48, 2023. DOI: 10.11606/gtp.v18i2.196860. Disponível em: <https://revistas.usp.br/gestaodeprojetos/article/view/196860>.. Acesso em: 24 jul. 2025.

WEHR, Aloysius; LOHR, Uwe. Airborne laser scanning—an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s. l.], v. 54, n. 2, p. 68–82, 1 jul. 1999. [https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(99\)00011-8](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(99)00011-8).

XI, Wang; CONG, Wu. Remote Practice Methods of Survey Education for HBIM in the Post-Pandemic Era: Case Study of Kuiwen Pavilion in the Temple of Confucius (Qufu, China). **Applied Sciences**, [s. l.], v. 12, n. 2, p. 708, 12 jan. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12020708>.

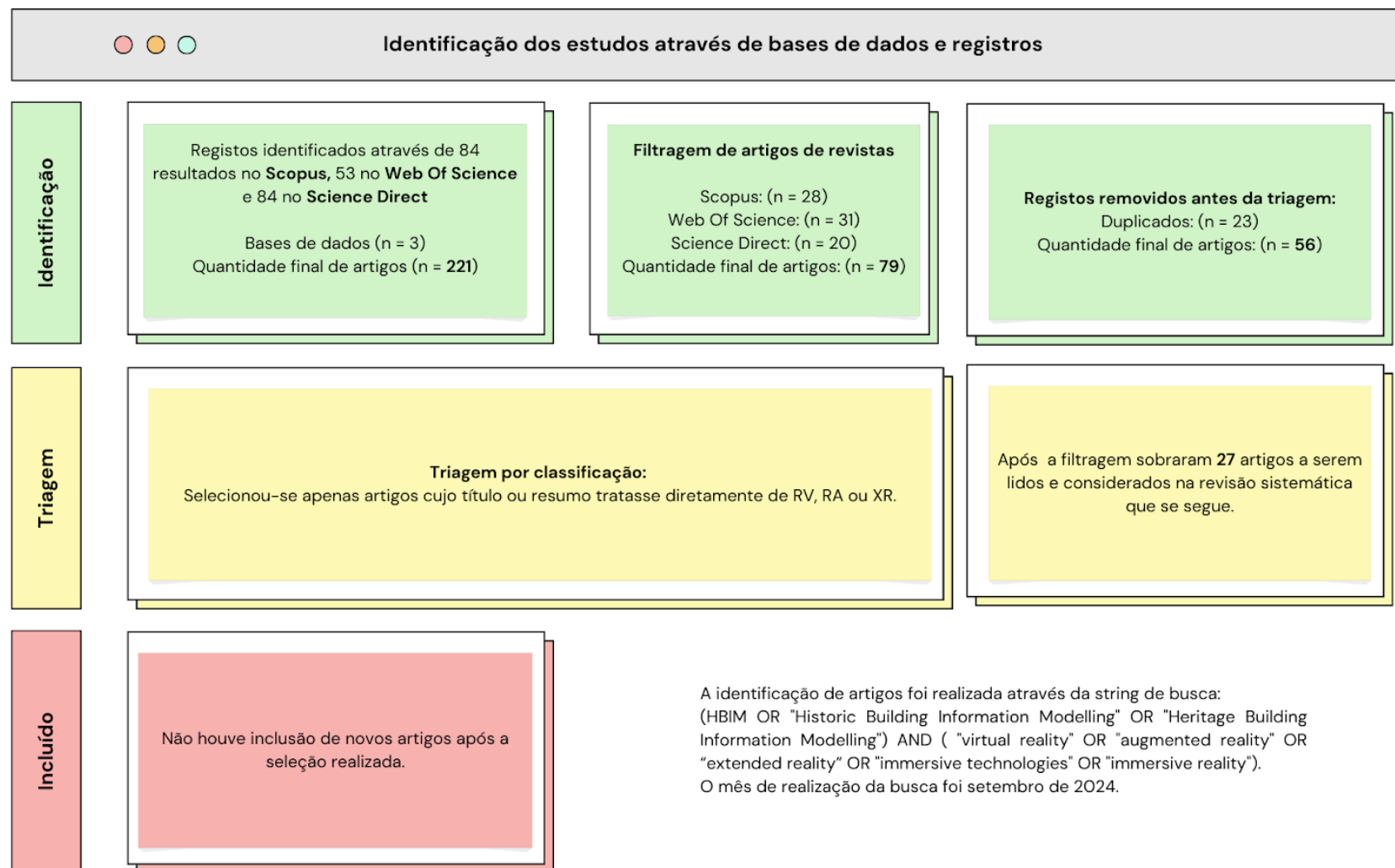
YANG, Shuran. Storytelling and user experience in the cultural metaverse. **Heliyon**, [s. l.], v. 9, n. 4, p. e14759, abr. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14759>.

ZHANG, Z.; ZOU, Y. Research hotspots and trends in heritage building information modeling: A review based on CiteSpace analysis. **Humanities and Social Sciences Communications**, v. 9, n. 1, p. 1–22, 2022. DOI: [doi.org/10.1057/s41599-022-01414-y](https://doi.org/10.1057/s41599-022-01414-y).

ZOREDA, L. Edifício Histórico y Arqueología: un compromiso entre exigencias, responsabilidad y formación, in **Arqueología de la Arquitectura**, 6, Vitoria-Gasteiz: Diputació Foral de Álava, Universidad del País Vasco e CSIC, pp. 11-19, 2009a.

## APÊNDICE

### APÊNDICE A – RELEITURA DO FLUXOGRAMA PRISMA ATUALIZADA DE ACORDO COM A METODOLOGIA APLICADA NA REVISÃO SISTEMÁTICA



## APÊNDICE B – PÁGINA INICIAL DO WEBSITE

### Medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto - MG ☰

Este site é um protótipo desenvolvido no contexto do mestrado de Gabriella Torres e reúne, em um só espaço, conteúdos relacionados à Igreja de São Francisco de Assis, em Ouro Preto/MG, com foco especial no medalhão esculpido que ocupa o óculo da fachada. Aqui você pode explorar um modelo 3D interativo do medalhão, acessar documentos históricos, fotografias, plantas, peças gráficas, visualizar o modelo em Realidade Aumentada por meio de QR Code. O desenvolvimento se dá no âmbito do projeto "Protocolos de gestão de riscos ao patrimônio cultural: documentação científica e monitoramento utilizando mapas de danos por BIM" (PROCESSO CNPQ Nº 405146/2021-3)

Produções do grupo de pesquisa

Documentos Históricos

Levantamentos e diagnósticos

Explore o 3D

Acesse em RA:

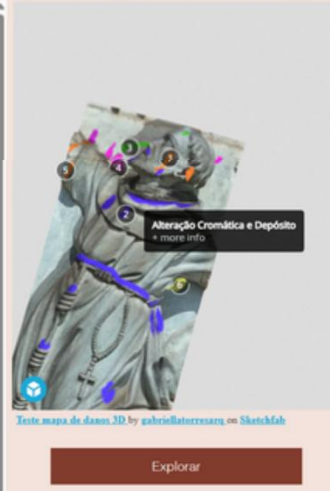
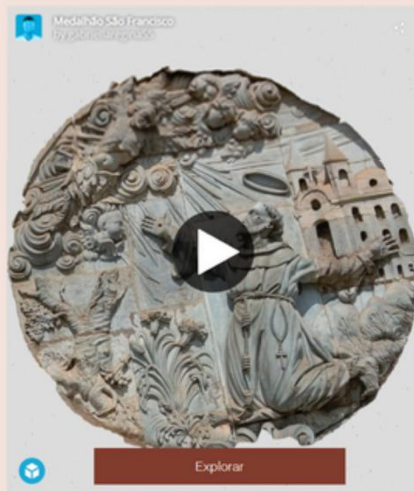


## Sobre

O QUÊ?	QUEM?	PORQUÊ?	ONDE?	QUANDO?	COMO?
--------	-------	---------	-------	---------	-------

Este protótipo de plataforma digital foi desenvolvido no contexto do trabalho de mestrado de Gabriella Torres, constitui uma ferramenta de interpretação e comunicação do patrimônio cultural mediante a integração de dados multimídia. O escopo do projeto foca na Igreja de São Francisco de Assis, em Ouro Preto/MG, uma localidade tombada como Patrimônio Mundial pela UNESCO, com ênfase no medalhão esculpido que se insere no óculo da fachada. A funcionalidade da plataforma expande-se para além de um mero repositório, incorporando documentos históricos, fotografias, plantas arquitetônicas e peças gráficas e modelos 3D navegáveis. Ademais, a plataforma viabiliza a visualização do modelo em Realidade Aumentada (RA) por meio de códigos QR. Esta abordagem, posiciona o site como um instrumento ativo na interpretação e disseminação do patrimônio cultural.

## Explore o medalhão



## APÊNDICE C – VISUALIZAÇÃO DO MENU DO WEBSITE



## APÊNDICE D – VISUALIZAÇÃO DA PARTE DE EXPLORAÇÃO DO MEDALHÃO E DO MAPA DE DANOS

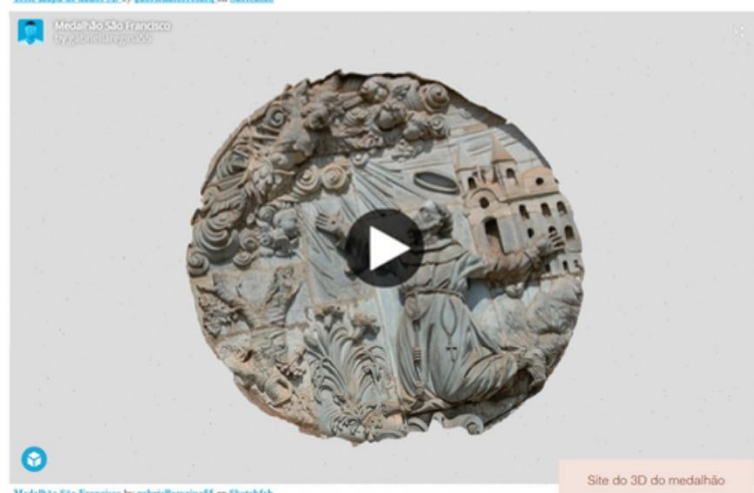
Medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto - MG ☰

Explore o mapa de danos



Teste mapa de danos 3D by gabriellatereza99 on Sketchfab

Explore o medalhão



Medalhão São Francisco by gabriellatereza99 on Sketchfab

## APÊNDICE E – VISUALIZAÇÃO DA PARTE DE LEVANTAMENTOS E DIAGNÓSTICOS

Medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto - MG ☰

### Levantamentos e Diagnósticos

Termografia
Identificação de danos (Fotos)
Laboratoriais
Fotografia UV

## APÊNDICE F – VISUALIZAÇÃO DA PARTE DE ACERVO DE DOCUMENTOS HISTÓRICOS

Medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto - MG ☰

### Acervo de documentos históricos

Peças técnicas da Igreja
Peças técnicas como plantas, fachadas,
Fotografias
Fotografias históricas
Obras
Registros de obras
Tombamento e inventário
Registros de obras
Outros
Registros de obras
Artigos
Registros de obras
CDI IPHAN
Acervo do Centro de Documentação do Patrimônio (CDP) - IPHAN sobre a Igreja.

## APÊNDICE G – VISUALIZAÇÃO DA PARTE DE PRODUÇÕES DO GRUPO DE PESQUISA

Medalhão da Igreja São Francisco de Assis de Ouro Preto - MG 

### Produções do grupo de pesquisa

#### Artigos

- ASSUMPÇÃO, J. P. F.; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy. Asociación de realidad aumentada y aeronaves no tripuladas: investigaciones y oportunidades emergentes en AECO. REVISTA CIENCIA E TECNOLOGIA, p. 22-29, 2021.
- ASSUMPÇÃO, J. P. F.; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy. Exploring Georeferenced Augmented Reality for Architectural Visualization with Unmanned Aerial Vehicles. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 13, p. 389, 2024.
- CERAVOLO, A. L.; CUPERSCHMID, A. R. M.; FABRICIO, M. M.. Documentação digital para preservação, conservação e manutenção de edifícios modernos: E1 EESC USP. FORUM PATRIMÔNIO: AMBIENTE CONSTRUÍDO E PATRIMÔNIO SUSTENTÁVEL (UFMG ONLINE), v. 11, p. s/n, 2020.
- CERAVOLO, A. L.; CUPERSCHMID, A. R. M.; SILVA, F. B. L.; FABRICIO, M. M. Industrialization in Modern Brazilian Architecture, 1950. In: Digital Modernism Heritage Lexicon. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 1255-1276.
- COSTA, ALINE PRADO; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; NEVES, LETICIA OLIVEIRA. HBIM and BEM association: Systematic literature review. JOURNAL OF CULTURAL HERITAGE, v. 66, p. 551-561, 2024.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; DIAS, M. S. Valuing and Sharing Contemporary Architectural Heritage: Exploring the Scan-to-HBIM-to-XR Process with Venezia Farm Chapel. In: BARTOLOMEI, C.; IPPOLITO, A.; VIZIOLI, S. H. T. (Org.). Springer Tracts in Civil Engineering. Cham: Springer Nature Switzerland, 2024. p. 109-127.
- CUPERSCHMID, A. R. M.; OLIVEIRA, G. N.; FRONER, Y. A. Exploring the Use of LiDAR in Smartphones: Documenting the Frontispiece of Saint Francis of Assisi Church in Ouro Preto, Brazil. International Journal of Architectural Heritage, 2024. p. 1-12. DOI: 10.1080/15583058.2024.2344163.
- CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; COSTA, A. P.; NEVES, I. R.; FONSECA, F. R.; CUPERSCHMID, E. M.. Virtual reconstruction of the deconstructed heritage: The former building of the Belo Horizonte School of Medicine. ACM Journal on Computing and Cultural Heritage, v. 17, p. 3639931, 2024.
- CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; NANNI, D. H. D.. Virtual Reality study on signage in subway ventilation and emergency exit structures. GESTÃO & TECNOLOGIA DE PROJETOS, v. 19, p. 25-49, 2024.
- CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; SAKAMOTO, M. H.. Augmented Reality Based on Object Recognition for Piping System Maintenance. Journal of Architectural Environment & Structural Engineering Research, v. 4, p. 38-44, 2021.
- CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; SILVA, C. O. A.. Análise comparativa de maturidade BIM: estudo de escritório de arquitetura em São José dos Campos. EUROPEAN ACADEMIC RESEARCH, v. IX, p. 2924-2947, 2021.
- DIAS, M. S.; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy; SANTIAGO, C. C.; GOODY, M. A.; SKUBS, D.; RICHETTO, A. V. D.; SILVA, M. L.; OLIVEIRA, H. C.. Capela da Fazenda Venezia: análise comparativa da precisão de nuvens de pontos obtidas por diferentes ferramentas e técnicas de fotogrametria. GESTÃO & TECNOLOGIA DE PROJETOS, v. 13, p. 41-60, 2021.
- DIAS, M. S.; CUPERSCHMID, Ana Regina Mizrahy. Realidade Virtual e Aumentada para Difusão do Patrimônio Arquitetônico. DATJOURNAL DESIGN ART AND TECHNOLOGY, v. 7, p. 84-103, 2022.
- FABRICIO, M. M. (Org.); CUPERSCHMID, A. R. M. (Org.) Anais do Encontro Brasileiro de Modelagem da Informação da Construção e Patrimônio Cultural - HBIM 2019. São Carlos: IAU, 2019.
- FRONER, Y. A.; PAULUCCI, F. F.; SAID, L. M.; ANDRADE, M. V. O. Desenvolvimento de metodologia forense de vistoriação de danos a bens do patrimônio cultural. Revista VIS: Revista do Programa de Pós-Graduação em Arte, v. 23, p. 1-19, 2024.
- FRONER, YA; GONÇALVES, W.B.; SOUZA, L. A. C.; ROSADO, A.. Mudanças climáticas, riscos ao patrimônio cultural e ambiental, políticas públicas e o papel das redes colaborativas: um olhar sobre o panorama brasileiro contemporâneo. PATRIMÔNIO E MEMÓRIA (UNESP), v. 17, p. 124-151, 2021.
- FRONER, YA; SOUZA, L. A. C.; GONÇALVES, W.B.; MCGHEE, H.; MICHELIN, G.. Heritage Science Networks: Contribution to the Sustainable Development Agenda. In: Heritage for the Future, Science for Heritage, 2022, Paris. Un patrimoine pour l'avenir, une science pour le patrimoine - Heritage for the Future, Science for Heritage, Paris: GF- Conseil de l'Union européenne, 2022. v. 1, p. 230-236.
- FRONER, YA. Arqueologia Positiva: conceito, forma e materialidade. In: Cristiano Casimiro; Adriano Luís de Souza, (Org.). Restauo e história do Prédio da Casa de Câmara e Cadeia de Mariana. 1ed.Mariana: Prefeitura de Mariana, 2024. v. 1, p. 115-140.
- FRONER, YA. Heritage Science Networks and public policies: The importance of protocols, standards, and normative tools, and the Brazilian Institute of Museums guidelines regarding collections risk management. In: PAULA MENDINO HOMEM, (Org.). INTEGRATED RISK MANAGEMENT IN MUSEUMS: PAST LESSONS, FUTURE WAYS. 1ed.Porto: FLUP Digital Library, 2023. v. 1, p. 120-142.
- FRONER, Yacy Ara; GONÇALVES, W.B.; SOUZA, L.A.C.; COSTA, A.G.; ROSADO, A.; CUPERSCHMID, A.R.M.; WALTER, G.O.; MIRANDA, A.C.N.; MICHELIN, G.; MONTALVÃO, A.C.M.; HARDY, T.C. Data Collection for Cultural Heritage Risk Management: the Damage Map through Heritage Building Information Modeling (HBIM) Project Applied to the Façade of St Francis of Assisi, Ouro Preto, Brazil. Studies in Conservation, v. 69, p. 98-107, 2024.
- FRONER, Yacy Ara; SOUZA, L.A.C.; GONÇALVES, W.B.; MONTALVÃO, A.C.M.. Destruição e proteção de acervos em museus. In: 6o Encontro Luso Brasileiro de Conservação e Restauração, 2021. Pelotas (evento online). Anais do VI Encontro Luso- Brasileiro de Conservação e Restauração: conexões. Pelotas: UPPEL, 2021. v. 1, p. 406-418.
- FRONER, YACYARA; FUNARI, PEDRO PAULO ABREU. Sustentabilidade e resiliência. Revista de História da Arte e da Cultura, v. 3, p. 94-116, 2022.
- GONÇALVES, W. B.; AMORIM, L. C.; VILLAS BOAS, P. M. G. D. Conservação preventiva e riscos de incêndio em sítios históricos. In: ArquiMemória 6 - Encontro Internacional sobre Preservação do Patrimônio Edificado, 2024, Salvador. Anais do ArquiMemória 6. Recife: Ever3D, 2024. v. 1, p. 1-22.
- GONÇALVES, W. B.; SOUZA, L. A. C. Imaging for scientific documentation and monitoring of cultural heritage. 2021. Comunicação científica.
- GONÇALVES, W.B.; PANACHUK, L.; HARDY, T.C.. TÉCNICAS DE RECONSTRUÇÃO TRIDIMENSIONAL, REALIDADE VIRTUAL E PROTOTIPAGEM APLICADAS À PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO

#### Teses e dissertações

- Isabelle Lohanny Oliveira de Jesus Abreu Rei. Vocabulário Controlado para Diagnóstico Patologias e Danos em Bens Integrados em Pedra: estudo de caso da Igreja São Francisco de Assis, Ouro Preto-MG. Início: 2024. Dissertação (Mestrado em Artes)-Universidade Federal de Minas Gerais. (Orientador).
- Tiago de Castro Hardy. O Uso de Vants em Protocolos de Monitoramento, Diagnóstico e Documentação Científica para Conservação o Patrimônio Cultural. Conclusão: 2022. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável)-Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Willi de Barros Gonçalves.
- Tiago de Castro Hardy. Sistematização de documentação arquitetônica a partir denuvem de pontos obtidas por aeronaves remotamente pilotadas e scanner a laser. Início:2022. Tese (Doutorado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável)- Universidade Federal de Minas Gerais, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. (Orientador).
- Gabriella Regina Santos Torres. A contribuição da Arqueologia da Arquitetura na modelagem HBIM com aplicações em RA. Início: 2024. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável)- Universidade Federal de Minas Gerais. Orientador: Guilherme Nunes de Vasconcelos.

#### Entrevistas

#### Outros