



UnB

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO – FAU
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E
URBANISMO – PPG-FAU**

TESE DE DOUTORADO

PEDRO PRAIA FIUZA DIAS PINTO

**HBIM PARA DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MEMÓRIA E DO
PATRIMÔNIO CULTURAL ARQUITETÔNICO INDÍGENA DO BRASIL**

**Brasília-DF
2024**

PEDRO PRAIA FIUZA DIAS PINTO

**HBIM PARA DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MEMÓRIA E DO
PATRIMÔNIO CULTURAL ARQUITETÔNICO INDÍGENA DO BRASIL**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília PPG-FAU/UnB, para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo. Área de Concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. Linha de Pesquisa: Estruturas e Arquitetura.

Orientador: Prof. Dr. João da Costa Pantoja

**Brasília-DF
2024**

PRAIA, Pedro.
HBIM PARA DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MEMÓRIA E DO
PATRIMÔNIO CULTURAL ARQUITETÔNICO INDÍGENA DO BRASIL.
Pedro Praia;
Orientador João da Costa Pantoja. - Brasília, 2024. 80 p.

Tese (Doutorado - Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) –
Universidade de Brasília, 2024.

PEDRO PRAIA FIUZA DIAS PINTO

**HBIM PARA DOCUMENTAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA MEMÓRIA E DO
PATRIMÔNIO CULTURAL ARQUITETÔNICO INDÍGENA DO BRASIL**

Tese de Doutorado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília PPG-FAU/UnB, para obtenção do título de Doutor em Arquitetura e Urbanismo. Área de Concentração: Tecnologia, Ambiente e Sustentabilidade. Linha de Pesquisa: Estruturas e Arquitetura.

Aprovada em: 28 de novembro de 2024

Banca Examinadora:

Prof. Dr. João da Costa Pantoja – FAU/UnB (Orientador)

Prof. Dr. Lenildo Santos da Silva – FT/UnB

Prof. Dr. Rudybert Barros von Eye – Min. da Justiça e Segurança Pública

Prof. Dr. Fabiano Mikalauskas de Souza Nogueira – FAU/UFBA

**Brasília-DF
Novembro, 2024**

À minha mãe Elza Fiuza
(in memorian)
Ao cacique Ahöpowê Aptsiré
(in memorian)

AGRADECIMENTOS

Ao PPG-FAU/UnB, a todos os funcionários e amigos que conheci desde o meu mestrado em 2014, pelo apoio, afeto, dedicação e amizade.

Ao meu orientador e grande professor João Pantoja, pelas trocas, aprendizados e oportunidades que sempre me proporcionou. Sou grato por tê-lo não só como professor e orientador, mas como um grande amigo!

Ao Laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LabRac) e toda a equipe que sempre me apoiou e incentivou.

Agradeço ao Programa de Doutorado Sanduíche no Exterior (PDSE) da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) pela concessão da bolsa - Processo n.88881.892647/2023-01.

Agradeço ao laboratório Carleton Immersive Media Studio (CIMS), da Universidade de Carleton em Ottawa, Canadá, especialmente ao professor e orientador Stephen Fai, ao professor e orientador Mario Santana, a Laurie Smith e ao parceiro de pesquisa e amigo Adam Weigert.

A minha companheira de vida e trabalho Lívia Brandão, por todo apoio, incentivo, carinho e compreensão. E por todo trabalho desempenhado na visita de campo dessa pesquisa.

À minha família, que me acolhe e incentiva nos novos sonhos, em especial meu pai Chico Dias, um grande defensor e amigo da causa indígena e minha irmã Marina Praia e minha filha e parceira de vida Mariah Praia, por todo amor e cuidado.

Ao Grupo de Capoeira Angola Nzambi, em especial a figura de Mestra Elma e meus Contramestres, professores, professoras e camaradas, irmãos e irmãs de vida e de capoeira, que me ensinam a cair e levantar sempre!

Aos povos indígenas, em especial à minha família A'uwe Xavante, ao cacique e padrinho Zé Maria Paratsé, aos caciques Felix Abtsiré e sua companheira Rosalina e ao Robson e sua companheira. Aos meus irmão Almir, Giovani e todos meus demais amigos e parentes da aldeia de São Marcos por todo o carinho e confiança.

Hepãri!

RESUMO

A constante situação de ameaça que vivem os povos originários no Brasil traz à tona a urgente necessidade de preservação das tecnologias e saberes ancestrais indígenas, como forma de proteção do patrimônio cultural. A arquitetura tradicional dos povos indígenas é um dos bens culturais atingidos e ameaçados com o avanço de atividades como a mineração ilegal e o agronegócio. As tecnologias construtivas e a forma de ocupar o espaço são bens que sintetizam e representam a presença e o valor do patrimônio cultural material e imaterial desses povos e devem ser devidamente documentados e preservados. A utilização de tecnologias e ferramentas computacionais atuais, como aerofotogrametria, modelagem por nuvem de pontos e a tecnologia de modelagem da informação da construção do patrimônio (HBIM), pode ser de grande valia na preservação do patrimônio arquitetônico indígena do Brasil. A documentação das edificações e dos processos e tecnologias construtivas dos povos originários do Brasil se faz necessária na missão de salvaguarda desse patrimônio como forma da preservação da memória desses povos. Por meio da modelagem HBIM de diferentes tipologias estruturais presentes na arquitetura dos povos originários do Brasil e da documentação do processo construtivo de uma casa tradicional do povo Xavante, a pesquisa explora a possibilidade de inserção de dados etnográficos como metadados inerentes à tecnologia de *building information modeling* (BIM) como suporte à preservação do patrimônio cultural material e imaterial dos povos originários do Brasil. Nesse sentido, esta pesquisa busca compreender e explorar o uso da metodologia de modelagem de informação da construção patrimonial (HBIM) na documentação e preservação do patrimônio material e imaterial arquitetônico dos povos indígenas do Brasil.

Palavras-chave: HBIM; patrimônio cultural; arquitetura indígena; arquitetura; patrimônio material e imaterial.

ABSTRACT

The constant threat faced by indigenous peoples in Brazil highlights the urgent need to preserve ancestral indigenous technologies and knowledge as a way of protecting cultural heritage. The traditional architecture of indigenous peoples is one of the cultural assets that has been affected and threatened by the advancement of activities such as illegal mining and agribusiness. Construction technologies and the form of space occupancy are cultural assets that summarize and represent the presence and value of the tangible and intangible cultural heritage of original peoples from Brazil and must be duly documented and preserved. The use of current digital technologies and tools such as aerial photogrammetry, point cloud modeling, and Heritage Building Information Modeling (HBIM) technology can be of great value in preserving Brazil's indigenous architectural heritage. Documenting the buildings and construction processes and technologies of the indigenous peoples from Brazil is necessary for the mission of safeguarding this heritage as a way of preserving the memory of these peoples. Through HBIM modeling of different structural typologies present in the architecture of the indigenous peoples of Brazil and the documentation of the construction process of a traditional house of the Xavante people, the research explores the possibility of inserting ethnographic data as metadata inherent to *building information modeling* (BIM) technology, as support for the preservation of the tangible and intangible cultural heritage of the indigenous peoples of Brazil. In this sense, this research seeks to understand and explore the use of the heritage building information modeling (HBIM) methodology in the documentation and preservation of the tangible and intangible architectural heritage of the indigenous peoples of Brazil.

Key-words: HBIM; heritage; indigenous architecture.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 — Quadro pintado à mão por Orestes Abstiré, filho do cacique Ahopowe.. | 17 |
| Figura 2 — Fora garimpo: protesto na Terra Indígena Yanomami | 20 |
| Figura 3 — O filósofo Davi Kopenawa e crianças Yanomami | 21 |
| Figura 4 — Heterogeneidade de dados métricos (a) e desenhos do séc. XIX de Rossini, templo Grego de Castor e Pólux (b) | 37 |
| Figura 5 — Diagrama da relação entre módulos SICG (Conhecimento, Cadastro e Gestão) e o Modelo Paramétrico (arquivo modelo) em desenvolvimento através do programa Revit..... | 40 |
| Figura 6 — Conceitualização do HBIM: O ambiente BIM é a base de conhecimentos para representar os dados colhidos durante o levantamento- SKB – Survey Knowledge Base (a) e – IKB – interpretação dos dados por especialistas | 41 |
| Figura 7 — Modelagem da Informação da Construção Histórica: corte perspectivado do modelo HBIM (a) e modelo HBIM explodido em categorias paramétricas (b) | 44 |
| Figura 8 — Exemplos de dados métricos utilizados na pesquisa: levantamento métrico em DWG da casa Hök Kamayurá (a) e dados métricos casa Rí povo Xavante (b) | 47 |
| Figura 9 — Exemplos de dados gráficos utilizados na pesquisa: croquis sobre nós e amarras e fotografias dos mesmos nós (a) e Desenhos não verificados sobre arquitetura indígena (b) | 48 |
| Figura 10 — Exemplos de dados não geométricos utilizados na pesquisa:(a) informações botânicas sobre os materiais construtivos (b) Rituais e outros dados etnográficos relativos à construção | 48 |
| Figura 11 — Regras geométricas: Cobertura Fotográfica Geral | 52 |
| Figura 12 — Regras Fotográficas: Calibração da câmera (a) e ajuste das cores com Colorcheck Passport (b) | 52 |
| Figura 13 — Exemplo de regra organizacional: Mapeamento dos pontos de captura de imagens..... | 53 |
| Figura 14 — Classificação das principais técnicas de levantamento cadastral de uma edificação | 57 |
| Figura 15 — Princípios básicos de aquisição de dados métricos por fotografias: Princípio do “raio principal” de incidência de luz em qualquer objeto (a). Intersecção de raios entre duas imagens definindo pontos no espaço 3D (b)..... | 58 |
| Figura 16 — Elementos básicos no fluxo de trabalho para fotogrametria | 62 |
| Figura 17 — Nível de detalhamento CIMS para uma janela | 70 |
| Figura 18 — CIMS workflow Point Cloud para o BIM..... | 78 |
| Figura 19 — Edifício Four Court: (a) Corte do século XVIII, (b) Imagem por nuvem de pontos | 82 |
| Figura 20 — HBIM Four Court: (a) Corte contendo as reais deformações (b) Modelo HBIM analítico | 82 |
| Figura 21 — HBIM Basílica de Collemagio: (a) modelo de elementos finitos no Midas (b) Modelo HBIM no Revit | 83 |
| Figura 22 — Perda de informação no MEF para BIM: (a) modelo MEF. (b) Modelo HBIM | 84 |

| | |
|---|-----|
| Figura 23 — HBIM Painel artístico UFRJ: Imagem por nuvem de pontos e Modelo HBIM analítico | 86 |
| Figura 24 — Corte longitudinal do modelo HBIM da Casa de Vidro, sobreposto com a imagem de nuvem de pontos. Em preto: vista wireframe do modelo BIM, em cores: nuvem de pontos..... | 87 |
| Figura 25 — HBIM Igreja da Pampulha: Classificação ontológica no modelo explodido | 89 |
| Figura 26 — HBIM Catedrais Italianas: (a) modelo HBIM madeiramento (b) Modelo HBIM analítico | 91 |
| Figura 27 — Conexões Seoikheon - Parâmetros de identificação na arquitetura tradicional coreana | 92 |
| Figura 28 — Imagem real (a), dados métricos (b), Modelo BIM (c)..... | 93 |
| Figura 29 — Regras paramétricas compartilhadas para a modelagem HBIM de peças não convencionais da arquitetura tradicional coreana..... | 94 |
| Figura 30 — OK ETÉ - Casa aldeia Tukano: (a) Fachada frontal (b) Perspectiva Isométrica..... | 97 |
| Figura 31 — OK ETÉ - Casa tradicional Kamayurá: (a) Fachada frontal (b) Planta Baixa | 99 |
| Figura 32 — O “ser” casa, arquitetura antropomorfa xinguana | 101 |
| Figura 33 — Restauração digital da Gruta sagrada de Kamukuwaká do povo Waujá | 105 |
| Figura 34 — Projeto para palácio em local desconhecido, de Zaha Hadid arquitetos | 106 |
| Figura 35 — Informações não geométricas atribuídas como metadados nos modelos HBIM | 109 |
| Figura 36 — Casa Hök do povo Kamayurá | 110 |
| Figura 37 — Arquitetura antropomórfica povo Kamayurá | 111 |
| Figura 38 — Dados Métricos de fontes secundárias. Peças gráficas da casa Hök: (a) Planta Baixa (b) Corte Transversal esquemático | 112 |
| Figura 39 — Modelo HBIM da casa Hök do povo Kamayurá | 113 |
| Figura 40 — Esquema de modelagem BIM: (a) Planta Baixa DWG, (b) Corte longitudinal DWG, (c) Desenhos georreferenciados em ambiente BIM, (d) Modelo HBIM parametrizado | 114 |
| Figura 41 — Casa Hatí da Aldeia Paresí Jatobá | 115 |
| Figura 42 — Peças Gráficas da casa Hatí: (a) Planta Baixa, (b) Corte transversal esquemático | 116 |
| Figura 43 — Dados etnográficos de fontes secundárias: (a) Croquis não verificados, (b) Fotografia..... | 117 |
| Figura 44 — Modelo HBIM da casa Hatí – Povo Paresí | 118 |
| Figura 45 — Casa Rí - Povo Xavante | 119 |
| Figura 46 — Peças Gráficas Casa Xavante: (a) Planta Baixa (b) Corte arquitetônico casa Rí | 120 |
| Figura 47 — Modelo HBIM paramétrico da casa Rí - Povo Xavante..... | 120 |
| Figura 48 — Relação entre bens materiais e imateriais do patrimônio indígena e os dados semânticos no software Autodesk Revit® - (a) Família de nós no Revit (b) | |

| | |
|---|-----|
| Parâmetros (metadados etnográficos) atribuídos a família de conexões estruturais no software Autodesk Revit..... | 121 |
| Figura 49 — Relação entre bens materiais e imateriais do patrimônio indígena e os dados semânticos no software Autodesk Revit® | 122 |
| Figura 50 — Estudo de caso 1: Modelagem por fontes secundárias | 122 |
| Figura 51 — Diferentes soluções estruturais: (a) Casa Hatí Paresí (b) Casa Hök Kamayurá | 123 |
| Figura 52 — Parâmetros de família do software Revit®: Propriedades Físicas do material (a). Imagens sobre a colheita, dados não gráficos (b). Tipo de espécie utilizada, dados não gráficos | 124 |
| Figura 53 — Parâmetros de material e propriedades físicas da madeira usada | 126 |
| Figura 54 — Dissertação de mestrado de Cristina Sá "Aldeia de S. Marcos": (a) Capa. (b) Ilustração mostrando a organização espacial entre rios da aldeia de Parawadza'radze..... | 129 |
| Figura 55 — Esquema de organização espacial da casa Rí Uptabi e casas modificadas na Aldeia São Marcos | 131 |
| Figura 56 — Videografia: Documentação arquitetônica do processo construtivo da casa Rí, saberes imateriais do patrimônio | 137 |
| Figura 57 — Localização da Aldeia de São Marcos, terra indígena Xavante..... | 138 |
| Figura 58 — Aula para as crianças da Aldeia São Brás, na terra indígena Xavante de São Marcos | 139 |
| Figura 59 — Ritual de convocação do grupo Tiró'wa para a Construção da casa Rí | 140 |
| Figura 60 — Ritual de convocação do grupo Tiró'wa para a Construção da casa Rí | 141 |
| Figura 61 — Coleta da palha de Pindoba (<i>Attalea Oleifera</i>) pelo grupo de mulheres A'uwe xavante | 141 |
| Figura 62 — Coleta da madeira para a estrutura da casa Rí: Espécie <i>Bauhinia Rufa</i> | 142 |
| Figura 63 — Processo de montagem da estrutura da casa Rí: Curvamento e amarração da estrutura tensionada..... | 142 |
| Figura 64 — Brotos da folha de Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>) usados na amarração da estrutura | 143 |
| Figura 65 — Cacique José Maria executando o processo de melhoramento do broto das folhas de Buriti | 143 |
| Figura 66 — Jovens executando o processo de tratamento dos brotos para serem usados na amarração da estrutura..... | 144 |
| Figura 67 — Imagem aérea da primeira missão de voo para captura de dados métricos da casa Rí..... | 145 |
| Figura 68 — Processo de curvamento dos elementos verticais da estrutura da casa Rí: Imagem da construção (a) desenho explicativo do processo de tensionamento da estrutura na pesquisa de Sá (1982) (b) | 146 |
| Figura 69 — Documentação por vídeo da execução do nó de amarração dos elementos horizontais da estrutura | 146 |
| Figura 70 — Amarração dos elementos horizontais (taboca) da estrutura da casa Rí | 147 |

| | |
|--|-----|
| Figura 71 — Amarração dos elementos horizontais (taboca) da estrutura da casa Rí | 147 |
| Figura 72 — Processo de secagem e dobra das folhas de Pindoba usadas no fechamento da casa Rí | 148 |
| Figura 73 — Diferentes técnicas de colocação da palha de pindoba (a) Esquema de fixação da palha de Costa e Malhano (b) | 149 |
| Figura 74 — Mulher A’uwē realizando o tratamento da palha para a aplicação da técnica de fixação cabocla | 150 |
| Figura 75 — Primeiras missões para captura de imagens: Finalização da montagem dos elementos verticais tensionados (a). Início da colocação dos elementos horizontais (b)..... | 150 |
| Figura 76 — Imagens das missões de voo do quarto dia: Fixação dos elementos horizontais e colocação da palha de pindoba para o fechamento (a). Imagem aérea da edificação concluída (b) | 151 |
| Figura 77 — Elementos de fechamento internos a serem aparados como acabamento..... | 151 |
| Figura 78 — Finalização da construção da casa Rí | 152 |
| Figura 79 — Imagens do ritual de distribuição da carne como recompensa pela construção da casa Rí..... | 153 |
| Figura 80 — Gráfico BPMN do processo construtivo da casa Rí | 154 |
| Figura 81 — Bakité, cesto símbolo da Cultura A’uwē Xavante | 155 |
| Figura 82 — Mulher A’uwē Xavante confeccionando o cesto Bakité. | 156 |
| Figura 83 — Painel de controle de planejamento do voo orbital pelo software de controle de voo Dronelink..... | 159 |
| Figura 84 — Configuração final no software Dronelink adequada ao local. Velocidade de 9 km/h com altitude de 17 metros e raio de órbita de 7 metros | 160 |
| Figura 85 — Representação da configuração dos voos para aerofotogrametria de uma edificação indígena | 161 |
| Figura 86 — Processamento de imagens da etapa construtiva 01 – 01 chunk com 18 imagens: Imagem aérea por drone. (a) Alinhamento das imagens no software de processamento Agisoft Metashape | 162 |
| Figura 87 — Resultado do primeiro processamento de imagem da etapa construtiva 02 – 01 chunk com 16 imagens..... | 163 |
| Figura 88 — Resultado do 2º processamento de imagem da etapa construtiva 02 – 01 chunk com 10 imagens..... | 164 |
| Figura 89 — Processamento 02 (Etapa Construtiva 2) – 1 chunk com 8 imagens . | 165 |
| Figura 90 — Modelo de Nuvem de Pontos resultante do Processamento 02 (Etapa construtiva 2) – 01 chunk com 8 imagens | 166 |
| Figura 91 — Processo de conversão de nuvem de pontos para formato compatível com o Autodesk Revit: Nuvem de pontos densa no software Metashape (a). Nuvem de pontos convertida no software Autodesk ReCap Pro (b)..... | 166 |
| Figura 92 — Da nuvem de pontos ao BIM | 167 |
| Figura 93 — Dados etnográficos inseridos como metadados no modelo HBIM no software Autodesk Revit® | 168 |
| Figura 94 — Informações sobre a cobertura, com fotos e vídeos, inseridos como dados semânticos no software Autodesk Revit® | 168 |

| | |
|---|-----|
| Figura 95 — Diagrama Point Cloud to HBIM da edificação tradicional Xavante presente no estudo de caso 2 | 169 |
| Figura 96 — Imagens do processo de captura de dados para estruturas esbeltas da arquitetura indígena canadense | 171 |
| Figura 97 — Tipi, edifício tradicional do povo indígena canadense Wikwemikong . | 171 |
| Figura 98 — Captura de imagem contendo o XRite - Colorchecker Passport | 172 |
| Figura 99 — Alinhamento das imagens para o processamento no software Metashape..... | 173 |
| Figura 100 — Comparação entre a modelagem por fontes secundárias e fontes primárias: Modelo confeccionado a partir de desenhos e arquivos CAD (a). Modelo HBIM por fontes primárias (b) | 175 |
| Figura 101 — Croqui demonstrando o esquema de travamento em X da estrutura | 182 |
| Figura 102 — Análise Estrutural da Casa Xavante: (a) Esquema de pórticos (b) Diagramas estruturais analíticos | 183 |
| Figura 103 — Análise estrutural da casa Rí: Modelo de barras exportado do Revit para o software Autodesk Robot®..... | 184 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| Quadro 1 — Usos BIM: os diferentes usos BIM aplicados às fases de projeto..... | 34 |
| Quadro 2 — BIM: 21 usos possíveis (Messner, 2019, p.79-129) | 34 |
| Quadro 3 — Regras 3x3 de fotogrametria | 51 |
| Quadro 4 — Workflow para fotogrametria por processamento SfM | 60 |
| Quadro 5 — Nível de registro do patrimônio segundo Letellier (2007) apud Groetelaars (2015) | 66 |
| Quadro 6 — Equipamentos utilizados na pesquisa..... | 158 |

| | SUMÁRIO |
|--|-----------|
| 1 APRESENTAÇÃO | 16 |
| 2 INTRODUÇÃO | 18 |
| 2.1 JUSTIFICATIVA | 27 |
| 2.2 OBJETIVOS | 28 |
| 2.3 METODOLOGIA | 29 |
| 2.3.1 Pesquisa sobre fundamentos e estado da arte do HBIM na documentação arquitetônica | 29 |
| 2.3.2 Conhecimento dos fundamentos e estado da arte em arquitetura indígena no Brasil | 30 |
| 2.3.3 Estudo de caso 1: modelagem HBIM de edificações indígenas por meio de fontes secundárias de dados espaciais | 30 |
| 2.3.4 Estudo de caso 2: modelagem HBIM de edificação tradicional Xavante por meio de fontes primárias de dados espaciais | 31 |
| 2.4 ESTRUTURA BÁSICA DA TESE | 31 |
| 3 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DO PATRIMÔNIO | 33 |
| 3.1 BIM: MODELO DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO | 33 |
| 3.2 HBIM: MODELO DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO PATRIMÔNIO | 35 |
| 3.3 HBIM E A DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA | 45 |
| 3.3.1 Tipos de dados na modelagem HBIM | 46 |
| 3.3.1.1 Dados Métricos | 47 |
| 3.3.1.2 Dados Gráficos | 47 |
| 3.3.1.3 Dados Não Geométricos | 48 |
| 3.3.2 Técnicas de levantamento cadastral para HBIM | 54 |
| 3.4 AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONE: O VOO DO PÁSSARO | 58 |
| 3.4.1 Planejamento da Missão | 62 |
| 3.4.2 Condições Ambientais | 63 |
| 3.4.3 Execução da Captura | 63 |
| 3.4.4 Processamento das Imagens | 63 |
| 3.4.5 Validação e Análise | 64 |
| 3.5 HBIM POR FONTES DE DADOS SECUNDÁRIAS | 64 |
| 3.6 NÍVEIS DE DETALHE, INFORMAÇÃO E ACURÁCIA EM HBIM | 67 |
| 3.6.1 Nível de desenvolvimento (LOD) | 68 |

| | | |
|--------------|--|------------|
| 3.6.2 | Nível de informação (LOI) | 70 |
| 3.6.3 | Nível de acurácia (LOA) | 71 |
| 3.6.4 | Nível de desenvolvimento, informação e acurácia (LODIA) | 72 |
| 3.7 | DO SCAN AO BIM | 74 |
| 3.7.1 | <i>Workflow Scan to BIM com aerofotogrametria por drone</i> | 75 |
| 3.7.2 | Tratamento de imagens para fotogrametria | 78 |
| 3.8 | HBIM E A INTEROPERABILIDADE | 79 |
| 3.9 | HBIM E A ANÁLISE ESTRUTURAL | 80 |
| 3.10 | HBIM E A PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO MODERNO | 85 |
| 3.11 | HBIM NA CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA | 90 |
| 4 | ARQUITETURA INDÍGENA BRASILEIRA | 95 |
| 4.1 | O SER “CASA” DOS POVOS XINGUANOS | 100 |
| 4.2 | HBIM NA ARQUITETURA INDÍGENA BRASILEIRA | 103 |
| 4.3 | ARQUITETURA TOPOLOGICA INDÍGENA | 105 |
| 5 | ESTUDO DE CASO 1: MODELAGEM POR FONTES SECUNDÁRIAS | 108 |
| 5.1 | CASA HÖK – POVO KAMAYURÁ | 110 |
| 5.2 | CASA HATÍ – POVO HALITI-PARESÍ | 114 |
| 5.3 | CASA RÍ – POVO A’UWĒ XAVANTE | 118 |
| 5.4 | RESULTADOS | 121 |
| 6 | ESTUDO DE CASO 2: MODELAGEM POR FONTES PRIMÁRIAS | 127 |
| 6.1 | A’UWĒ UPTABI: O POVO DE VERDADE | 127 |
| 6.2 | ALDEIA SÃO MARCOS | 135 |
| 6.3 | RÍ UPTABI: CASA DE VERDADE | 137 |
| 6.3.1 | 1º Dia do processo de construção | 138 |
| 6.3.2 | 2º Dia do processo de construção | 141 |
| 6.3.3 | 3º Dia do processo de construção | 145 |
| 6.3.4 | 4º Dia do processo de construção | 151 |
| 6.4 | BAKITÉ: O MUNDO NO CESTO DE PALHA | 155 |
| 6.5 | RÍ UPTABI: DO SCAN AO BIM | 157 |
| 6.5.1 | Planejamento da captura | 158 |
| 6.5.2 | Aquisição das imagens | 159 |
| 6.5.3 | Processamento das imagens | 161 |
| 6.5.3.1 | 1º Processamento de Imagens: Etapa Construtiva 1 | 162 |

| | |
|--|------------|
| 6.5.3.2 1º Processamento de Imagens: Etapa Construtiva 2 | 163 |
| 6.5.3.3 2º Processamento de Imagens – Etapa Construtiva 1 | 164 |
| 6.5.3.4 2º Processamento de Imagens – Etapa Construtiva 2 | 165 |
| 6.5.4 Modelagem HBIM | 166 |
| 6.5.5 Captura e documentação de estruturas esbeltas | 169 |
| 7 CONCLUSÕES | 174 |
| 7.1 UM MONUMENTO À MEMÓRIA A'UWĒ XAVANTE EM SÃO MARCOS | 176 |
| 8 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS | 181 |
| 8.1 ANÁLISE ESTRUTURAL NA ARQUITETURA INDÍGENA | 181 |
| 8.2 HBIM PARA ANÁLISE ESTRUTURAL EM MADEIRA | 184 |
| REFERÊNCIAS | 189 |

1 APRESENTAÇÃO

O trabalho de reconstrução de uma habitação tradicional Xavante na aldeia de São Marcos nasce de uma antiga relação de amizade e confiança do povo Xavante de São Marcos com a minha família. Minha presença na Aldeia São Marcos não se deu unicamente como pesquisador. Tenho uma relação familiar com o povo A'uwe Xavante, uma relação que começa antes do meu nascimento.

Meu avô materno, José de Melo Fiúza, trabalhou como técnico do antigo Serviço de Proteção ao Índio (SPI), órgão que deu origem ao que hoje se entende por Fundação Nacional dos Povos Indígenas (FUNAI). José Fiúza foi, juntamente com o indigenista Francisco Meirelles, responsável pelo processo de aproximação e contato pacífico com alguns povos indígenas, entre eles o povo Xavante (Castriona, 2009, p. 25; Neto, 1991, p. 82).

Vem daí sua amizade com o cacique Ahöpohwê (Apoena), responsável pela união do povo Xavante em São Marcos, após o último processo de diáspora. A casa dos meus pais, em Brasília, sempre foi um ponto de apoio para lideranças Xavante e de outras etnias que vinham à capital na luta política pelo direito de existir dignamente.

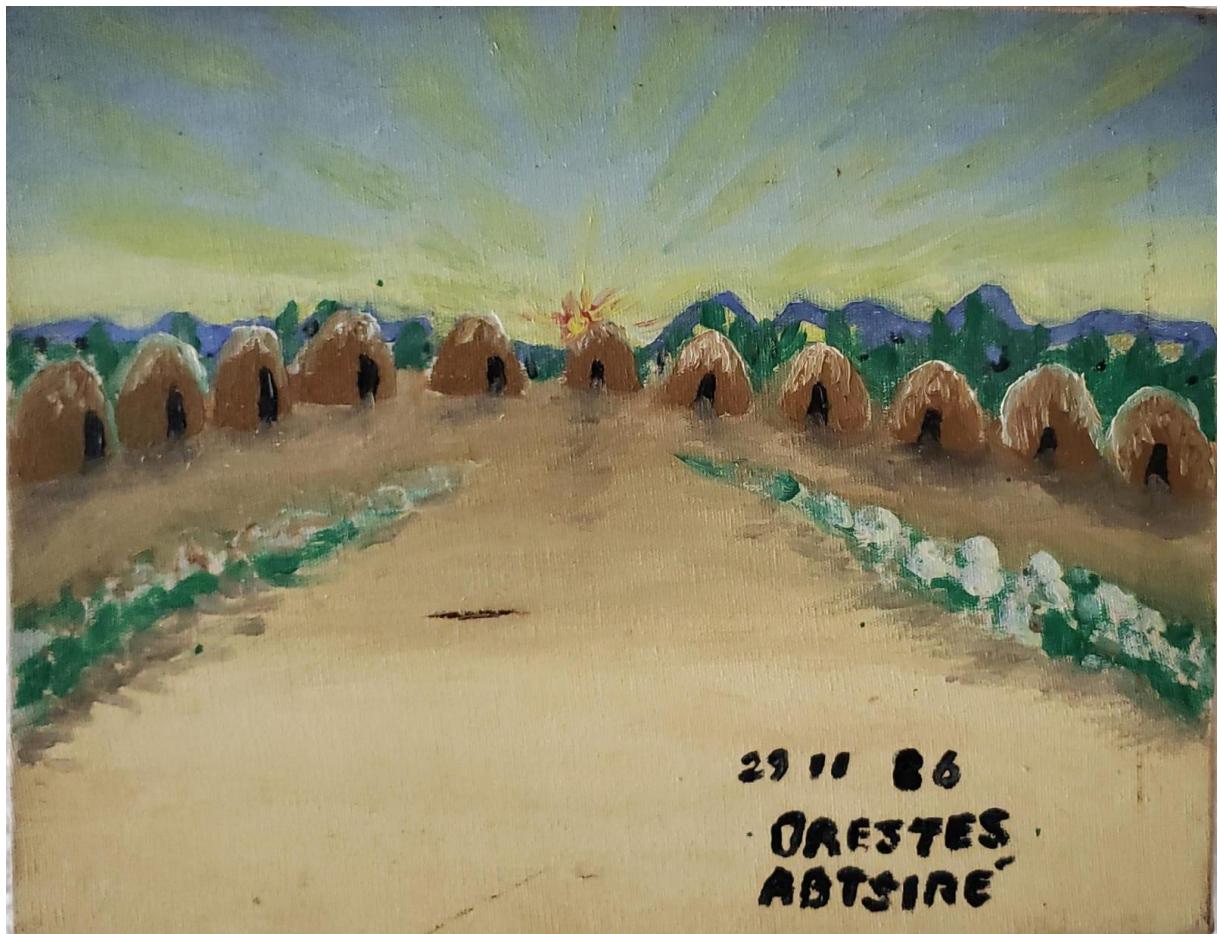
Ao nascer fui batizado e apadrinhado pelo cacique que me deu o nome de batismo: Hö-a Wari. Com sua morte, seu filho Orestes Abtsiré seguiu no papel de meu padrinho sempre me mantendo perto da cultura Xavante em suas visitas a Brasília, minha cidade natal.

Durante os anos de convívio com Orestes ganhamos de presente um quadro pintado por ele de uma aldeia Xavante imaginária. Essa pintura sempre despertou minha curiosidade de como seria a vida em uma aldeia Xavante e como seria viver em uma casa tradicional circular em madeira e palha.

A aldeia tradicional, com sua disposição espacial em semicírculo, implantada entre dois rios e formada por casas tradicionais de planta circular sempre esteve presente no imaginário dos jovens Xavante, ainda que tenham crescido distantes dessa realidade, em aldeias sem a presença da arquitetura tradicional desse povo. Ao pintar um pôr do sol em uma aldeia tradicional, Orestes reafirma a importância da

organização espacial e da arquitetura como forma de resgate da identidade cultural perdida.

Figura 1 — Quadro pintado à mão por Orestes Abstiré, filho do cacique Ahopowe



Fonte: Autor.

Com o falecimento de Orestes, mais uma vez essa relação se transfere, dessa vez para a figura do sobrinho do cacique Ahöpowé, José Maria Paratsé Abtsiré. Cacique Paratsé Abtsiré, também conhecido como José Maria, atualmente é um importante líder comunitário da aldeia de São Marcos, um sábio ancião e agente fundamental na construção social necessária para a realização dessa pesquisa de campo.

A visita de campo resultou na construção de uma casa unifamiliar Rí, após décadas sem a presença de nenhum edifício de arquitetura tradicional na aldeia. A construção foi uma solicitação do cacique Zé Maria aos seus afilhados de grupo etário Tiro'wá. O pagamento que tradicionalmente seria em carne de caça foi acertado como sendo um boi a ser dividido pelas famílias que se dispusessem a ajudar voluntariamente no processo, conforme a tradição construtiva do povo A'uwe.

2 INTRODUÇÃO

Para Vieira (2019), antropoceno deve ser definido como o tempo no qual, paradoxalmente, atividades antrópicas alteram macroprocessos do sistema biogeofísico do planeta Terra em magnitude e extensão grandes o bastante para desencadear catástrofes ambientais que ameaçam e, por vezes, tornam inviável o projeto, tipicamente moderno, de construção de um mundo propriamente humano. Clique ou toque aqui para inserir o texto.

A atividade humana tem trazido impactos irreversíveis no ambiente onde vive. Na década de 1980, foi proposto por Paul Crutzen e Eugene Stoermer o termo “antropoceno”, popularizado nos anos 2000 por Paul Crutzen, que pode ser definido como o surgimento de uma nova era geológica.

De acordo com Krenak (2019), a Era do Antropoceno tem um impacto incisivo sobre a existência humana no planeta, sobre o próprio conceito de humanidade. Para o filósofo indígena, o apego da humanidade contemporânea a uma ideia fixa de paisagem da Terra e de humanidade, essa construção mental coletiva de que existe uma maneira correta de se viver e habitar o planeta, é a marca mais profunda do Antropoceno (Krenak, 2019).

O Brasil, por se tratar de um país com uma vasta extensão territorial e enorme riqueza natural, sofre as consequências desse processo e somam-se a isso alguns componentes que tornam essa ameaça à existência humana ainda maior, principalmente para os chamados povos originários, que aqui habitavam antes da chegada dos colonizadores. O garimpo ilegal, o desmatamento das florestas e a poluição dos rios são mais algumas peças da engrenagem antrópica de destruição da natureza e dos seres que dela dependem de maneira direta. Nesse contexto,

O povo da mercadoria - para usar uma expressão de Davi Kopenawa (2015) sobre estes seres que foram tomados de um desejo desmedido por mercadorias a ponto de não enxergarem nada além delas - continua invadindo, saqueando, guerreando e devastando o mundo ameríndio (Cernicchiaro, 2020, p. 70).

Neste cenário, em que a existência do que entendemos por humanidade encontra-se ameaçada, os povos originários são os primeiros a sofrerem as consequências dessas catástrofes ambientais. São sociedades que têm com a

natureza e o planeta Terra uma relação direta de respeito e onde confiam sua existência.

As políticas governamentais no Brasil, há muitos séculos, predominantemente, defendem os interesses daqueles que exploram e ameaçam a existência dos povos originários. De acordo com a Articulação dos Povos Indígenas do Brasil (APIB), nos últimos anos, no Brasil, diversas medidas que configuraram ameaças diretas aos povos indígenas e, por consequência, ao futuro do planeta foram tomadas por parte do Estado, como o Projeto de Lei (PL) do Marco Temporal. Este projeto prevê a restrição das demarcações de terras indígenas, libera terras demarcadas para atividades como garimpo, mineração, agronegócio e construção de hidrelétricas.

Já o PL da Mineração em terras indígenas (PL 191/2020) tem como objetivo permitir a mineração industrial e artesanal, a geração hidrelétrica, a exploração de petróleo e gás e a agricultura em larga escala nas terras indígenas. Ele remove o poder de veto dessas comunidades sobre as decisões que impactam suas terras, indo contra a Convenção 169 da Organização Internacional do Trabalho (OIT).

O Projeto de Lei sobre Regularização Fundiária, PL 510/2021 (em conjunto com o PL 2633/2020), propôs novas medidas que beneficiam médios e grandes posseiros e especuladores de terra pública, incentivando a ocupação de novas áreas de floresta pública, promovendo a grilagem e o desmatamento ilegal em terras indígenas. Todos esses projetos, que estão em tramitação, se aprovados, levarão ao aumento do desmatamento, das invasões de terras indígenas, dos conflitos armados e por consequência da escalada de violência contra os povos originários habitantes do território brasileiro.

Assim acontece, atualmente, com diversos povos indígenas, como é o caso do povo Yanomami, que vem sofrendo as consequências dessas políticas criminosas de estado, resultando em uma crise humanitária com o massacre de seu povo, que, embora não seja algo recente, tomou proporções jamais vistas diante do avanço do garimpo ilegal na terra indígena (TI) Yanomami (Figura 2):

Figura 2 — Fora garimpo: protesto na Terra Indígena Yanomami



Fonte: Victor Moriam/ISA (2020).

Entretanto, recentemente, um novo panorama vem se formando e aponta para a direção que busca reverter, ou ao menos amenizar, esse quadro, com a implementação de políticas públicas que apoiem as lutas da causa indígena, como é dever constitucional do Estado.

O Ministério dos Povos Indígenas¹ tem como objetivo assegurar a autodeterminação dos povos e garantir condições de vida adequadas, como saúde e educação, para os povos originários. A criação desse ministério coloca em evidência a importância de serem os próprios indígenas, preferencialmente mulheres, a assumirem cargos na esfera pública e a protagonizarem as decisões políticas em torno da causa dos povos originários.

Em entrevista para o site da organização ONU Mulheres Brasil², Sônia Guajajara defende os valores culturais e a cosmovisão indígena sobre território, que vai além da compreensão material do conceito de terras indígenas.

¹ Sob a liderança da ativista e deputada federal eleita pelo estado de São Paulo, Sônia Guajajara. Para a deputada, território é todo o conjunto. É o universo onde estão todas as coisas que garantem a nossa sobrevivência, o exercício do nosso modo de vida no sentido cultural, político e a relação íntima com a natureza e meio ambiente.

² Disponível em: <https://www.onumulheres.org.br/noticias/o-compromisso-do-brasil-tem-que-ser-com-os-nossos-direitos-diz-sonia-guajajara-do-movimento-de-mulheres-indigenas/>. Acesso em out 2024

Os povos originários são verdadeiros guardiões dos biomas e da biodiversidade no planeta. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), os territórios indígenas tradicionais abrangem 28% da superfície terrestre do mundo, mas hospedam 80% da biodiversidade do planeta. De acordo com o filósofo Davi Kopenawa (Figura 3):

Na floresta, a ecologia somos nós, os humanos. Mas são também, tanto quanto nós, os *xapiri*, os animais, as árvores, os rios, os peixes, o céu, a chuva, o vento e o sol. É tudo o que veio à existência na floresta, longe dos brancos, tudo o que ainda não tem cerca. (Kopenawa; Albert, 2015, p. 480).

Figura 3 — O filósofo Davi Kopenawa e crianças Yanomami



Fonte: Fiona Watson/Survival.

Ao ameaçar a continuidade desses povos, suas culturas se colocam igualmente em risco, com suas tecnologias e seus saberes ancestrais, o chamado Patrimônio Cultural Material e Imaterial. Todos esses povos, em algum nível, encontram-se com seu patrimônio cultural arquitetônico ameaçado. Diante de tantas ameaças ao patrimônio cultural indígena brasileiro, a perda de bens arquitetônicos está presente em grande parte das comunidades (Schlee, 2012).

De acordo com os artigos 215 e 216 da Constituição da República Federativa do Brasil, é de responsabilidade da administração pública a promoção, a proteção e a gestão do patrimônio cultural brasileiro, incluindo das culturas indígenas (Brasil, 1988).

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), atualmente, no Brasil, vivem cerca de 305 etnias de povos originários diferentes (Censo 2022).

A colonialidade, fenômeno histórico e cultural que diz respeito à manutenção da lógica dominante do colonizador após o fim do chamado colonialismo histórico e que se perpetua até os dias atuais, manifesta-se em diferentes camadas da vida social, incluindo a do apagamento dos saberes e técnicas construtivas tradicionais dos povos colonizados. Para Quijano (2005), a colonialidade propaga-se mantendo a lógica de relações coloniais entre saberes e modos de vida e se manifesta em várias dimensões da vida social, incluindo o conhecimento, a economia, a política e a cultura. Trata-se de uma ameaça crítica que faz com que as comunidades indígenas venham a abandonar seus métodos tradicionais de construção, impulsionadas por fatores como fornecimento insuficiente de matéria-prima, desarticulação social e o distanciamento das práticas tradicionais de construção coletiva (UNESCO, 2017).

Atividades como a mineração ilegal, o desmatamento das florestas e a poluição dos rios são mais algumas peças da máquina antrópica de destruição da natureza que atinge os seres que dela dependem de maneira direta. Tais fatores trazem à tona a necessidade urgente de documentação e preservação do patrimônio arquitetônico indígena do Brasil.

O artigo 216 da Constituição Federal conceitua patrimônio cultural como sendo “[...] os bens de natureza material e imaterial, tomados individualmente ou em conjunto, portadores de referência à identidade, à ação, à memória dos diferentes grupos formadores da sociedade brasileira” (Brasil, 1988, p. 183).

A Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural, resultado da Conferência Geral das Nações para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO) de 1972, considera que a degradação ou o desaparecimento de um bem cultural e natural acarreta o empobrecimento irreversível do patrimônio de toda a humanidade (UNESCO, 1972).

A convenção (UNESCO, 1972) define que o patrimônio cultural inclui os monumentos, os conjuntos e os sítios. Os monumentos incluem obras arquitetônicas, esculturas ou pinturas monumentais, objetos ou estruturas arqueológicas, inscrições, grutas e conjuntos de valor universal excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência. Já os conjuntos são grupos de construções isoladas ou reunidas, que, por sua arquitetura, unidade ou integração a paisagem, têm valor universal

excepcional do ponto de vista da história, da arte ou da ciência. Por fim, os sítios são definidos como obras do ser humano ou obras conjugadas do ser humano com a natureza, bem como áreas que, incluem os sítios arqueológicos, de valor universal excepcional do ponto de vista histórico, estético, etnológico ou antropológico.

Já a Convenção para Salvaguarda do Patrimônio Cultural Imaterial, publicada pela UNESCO (2003), reconhece que os processos de globalização e de transformação social ao mesmo tempo em que criam condições propícias para um diálogo renovado entre as comunidades geram também graves riscos de deterioração, desaparecimento e destruição do patrimônio cultural imaterial, devido em particular à falta de meios para a salvaguarda das práticas, representações, expressões, conhecimentos e técnicas.

A convenção alerta para o fato de que as comunidades, em especial as indígenas, os grupos e, em alguns casos, os indivíduos, desempenham um importante papel na produção, salvaguarda, manutenção e recriação do patrimônio cultural imaterial, assim contribuindo para enriquecer a diversidade cultural e a criatividade humana (UNESCO, 2003).

A convenção (UNESCO, 2003) entende que o patrimônio imaterial se manifesta como tradições e expressões orais, incluindo o idioma como veículo do patrimônio imaterial; expressões artísticas; práticas sociais, rituais e atos festivos; conhecimentos e práticas relacionados a natureza e o universo; e técnicas artesanais tradicionais.

O Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN) é o órgão responsável pela preservação e divulgação do patrimônio nacional do Brasil. Tem a função de defender os bens culturais do país e foi criado em 1937 (com o nome de Serviço do Patrimônio Artístico Nacional), ano de criação da chamada “Lei brasileira de preservação do patrimônio histórico e cultural”, denominação dada ao Decreto-Lei nº 25, de 30 de novembro de 1937, que rege as relações jurídicas de preservação cultural no Brasil, juntamente com a Constituição Federal de 1988.

De acordo com o IPHAN (2022), o artigo 216, da Constituição Federal de 1988, expandiu o conceito de patrimônio definido pelo Decreto-Lei nº 25 de 30 de novembro de 1937, alterando a denominação Patrimônio Histórico e Artístico para Patrimônio Cultural Brasileiro. Esta alteração passou a abranger o conceito de referência cultural bem como a definição dos bens passíveis de reconhecimento, principalmente os de caráter imaterial (IPHAN, 2022).

Por patrimônio material entendem-se os elementos concretos de uma sociedade que representam a cultura e história de seu povo. São considerados bens imóveis as estruturas físicas, como sítios arqueológicos e paisagísticos, cidades históricas e bens individuais. Já os móveis são os bens que podem ser transportados, como coleções arqueológicas, acervos museológicos, documentais, bibliográficos, arquivísticos, videográficos, fotográficos e cinematográficos.

No Brasil, de acordo com o IPHAN (2022), as formas de proteção dos bens de cultura material são o tombamento, a chancela e a valoração. O tombamento de bens materiais, instrumento de proteção mais antigo do IPHAN, está dividido em bens móveis ou imóveis, e são categorizados de acordo com os quatro Livros do Tombo: arqueológico, paisagístico e etnográfico; histórico; belas artes; e das artes aplicadas.

Segundo o IPHAN (2022), a chancela está relacionada com a proteção da chamada paisagem cultural. Esse instrumento reconhece a relevância cultural de áreas específicas do território nacional que refletem a interação entre o ser humano e o ambiente natural. Essas áreas possuem marcas ou valores atribuídos pela vida ou pela ciência humana. A valoração está ligada à proteção e manutenção do patrimônio cultural ferroviário.

Os processos de tombamento promovem a oficialização das informações existentes nos bens móveis e imóveis, materiais e imateriais,

[...] Um edifício, transformado em patrimônio, não foi concebido para transmitir informações, mas quando lançamos questionamentos sobre eles e encontramos respostas - que se tornam a base para institucionalização de uma história ou memória - transformamos este objeto em documento [...] (Grigoletto, 2012, p. 58).

O processo de documentação de um bem cultural tem por objetivo não só a preservação e perpetuação da imagem e da história, mas também a preservação do conhecimento envolvido na criação e na produção deste bem.

Os bens de cultura imaterial são os elementos abstratos que compõem uma cultura e se referem às práticas e domínios da vida social de determinado grupo. Esses bens culturais imateriais podem ser divididos em ofícios, saberes, celebrações, formas de expressão (línguas) e espaços não edificados que abrigam práticas culturais coletivas.

Conforme Salles, Feitosa e Lacerda (2019), a noção de patrimônio cultural nacional desenvolveu-se no Ocidente, associada ao processo de industrialização e ao

surgimento dos chamados Estados-Nações. Essa concepção de patrimônio cultural nacional, no contexto da América Latina, foi forjada na perspectiva colonial, em que os interesses e narrativas determinam seus usos, significados e aplicações. Por muitos séculos a cultura indígena esteve fora da lista de bens culturais a serem preservados pelo patrimônio cultural do Brasil. Para os autores, a presença dos povos indígenas nas políticas patrimoniais requer mais análises, tendo em vista que não tem tido muito espaço para as reflexões sobre a própria prática cultural, mas sim foco na metodologia de “como fazer” os inventários patrimoniais (Salles; Feitosa; Lacerda, 2019).

Contudo, nas últimas décadas, o patrimônio cultural indígena tem sido cada vez mais reconhecido no Brasil. Desde a criação do Programa Nacional do Patrimônio Imaterial em 2000, os bens culturais indígenas, principalmente imateriais, como a língua, tem sido objeto de inventários patrimoniais. Observa-se um considerável avanço em políticas nacionais no sentido do reconhecimento da cultura indígena como integrante do patrimônio cultural nacional brasileiro. Segundo Salles, Feitosa e Lacerda (2019), apesar dos avanços das últimas décadas, essas políticas tendem a adquirir “[...] um caráter assimilaçãonista e assimétrico, à medida que operam a partir de uma aparente inclusão desses grupos [...]” (Salles; Feitosa; Lacerda, 2019, p. 7).

A documentação de um edifício ou de qualquer outro bem de valor patrimonial histórico vai além da atividade de levantamento, processamento e documentação desses bens culturais materiais. Tem como significado, também, a preservação da história e da memória e como objetivo a salvaguarda e a preservação não só do edifício, mas também dos valores simbólicos e culturais bem como dos saberes ancestrais e das técnicas construtivas e processos sociais envolvidos na construção. Para Fai, Filippi e Paliaga (2013), a construção de um edifício revela tanto as aspirações culturais do construtor como as exigências do processo de construção, ou seja, o motivo pelo qual os edifícios são feitos está diretamente associado à forma como os edifícios são feitos.

A execução do levantamento cadastral de um edifício ou de qualquer outro bem cultural transcende a simples atividade de levantamento de sua documentação. Para Oliveira (2007), o levantamento de um edifício de valor cultural confunde-se com a própria preservação da memória. Para o autor, no Brasil uma parcela significativa dos

monumentos e bens de relevante valor histórico, artístico e arquitetônico ainda não se encontra devidamente documentada (Oliveira, 2007).

Para Tolentino (2018), a grande parte dos bens culturais de valor histórico do patrimônio arquitetônico brasileiro ainda não foi corretamente documentada, tendo em vista a falta de uma política de gestão do patrimônio arquitetônico, por parte dos organismos governamentais, que faça uso das ferramentas tecnológicas atuais de levantamento, modelagem e documentação arquitetônica de edifícios históricos.

Diante do cenário de mudanças climáticas, catástrofes ambientais, crises sociais e das demais consequências do antropoceno, a preservação do patrimônio cultural e natural é a chave para se conhecer os caminhos de um futuro mais sustentável e equilibrado, ao aprender com experiências do passado, erros e acertos que servem como orientação para a evolução da sociedade. Para isso, devemos fazer uso de todo tipo de tecnologias e processos que possam contribuir com a documentação e memória da passagem da humanidade pelo planeta.

A modelagem de informações de edifícios do patrimônio (HBIM, do inglês *Heritage Building Information Modeling*) é uma tecnologia que documenta os bens do patrimônio cultural por meio da modelagem paramétrica de edifícios de valor patrimonial e histórico modelados com base em dados de levantamentos cadastrais de alta precisão. Ela tem como base o uso de tecnologias como aerofotogrametria, escaneamento a laser e modelagem por nuvens de pontos. Como resultado, tem-se um modelo tridimensional paramétrico com informações geométricas (altura, largura, área, volume, entre outras) e metadados não geométricos (informações imateriais, propriedades dos materiais e dados etnográficos, por exemplo) que podem ser utilizados na documentação, como base para projetos de requalificação, simulações de intervenção, monitoramentos e gerenciamentos de manutenção, colaborando para a preservação e manutenção de edifícios com valor patrimonial e histórico (Dore et al., 2014; Murphy; McGovern; Pavia, 2009; Tolentino, 2018).

Logo, a metodologia HBIM, a qual será explicada mais à frente nessa pesquisa, mostra-se uma ferramenta que pode auxiliar na extensa tarefa de documentação e preservação do patrimônio arquitetônico indígena no Brasil.

2.1 JUSTIFICATIVA

A presente pesquisa faz-se necessária diante de três principais aspectos. O primeiro é o constante estado de ameaça em que vivem os povos originários no Brasil, assim como seu vasto patrimônio de saberes arquitetônicos; e a necessidade de salvaguarda e documentação desses saberes ancestrais. O segundo é a necessidade de pesquisas que utilizem tecnologias digitais de levantamento cadastral (captura de dados) e documentação (processamento dos dados) de patrimônio arquitetônico e que estejam voltadas ao tema da arquitetura indígena. Por fim, o terceiro é a carência de estudos sobre arquitetura vernacular indígena sobretudo pelo recorte estrutural e construtivo.

De acordo com os dois últimos Censos (2010 e 2022) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população indígena no Brasil encontra-se em franco processo de crescimento nas últimas décadas, seja pelo aumento de pessoas que se autodeclararam indígenas ou pelo aumento da taxa de natalidade entre esses povos. Contudo, apesar do aumento no número de brasileiros autodeclarados indígenas, estudos mostram que apenas pouco mais de 12% dos domicílios são feitos com técnicas construtivas tradicionais dos povos originários.

Schlee (2012) mostra o processo de desaparecimento da arquitetura tradicional dos povos originários do Brasil e destaca a contribuição de arquitetos:

[...] Portanto, estamos falando de manifestações culturais em franco processo de desaparecimento. Tipos arquitetônicos em extinção. Bens culturais desprotegidos. Práticas e saberes não registrados que arquitetos, atuando como pesquisadores e/ou historiadores, tentam recuperar, para o conhecimento e estudo da arquitetura indígena no Brasil [...] (Schlee, 2012, p. 77).

Nesse estudo, Schlee (2012) aponta como o conhecimento arquitetônico dos povos indígenas se encontra ameaçado pelo processo de colonialidade. Mostra ainda a contribuição de arquitetos pesquisadores na documentação etnográfica da arquitetura indígena frente ao processo de desaparecimento em curso com relação aos saberes construtivos tradicionais desses povos.

De acordo com Troncarelli (2019), em um levantamento feito entre os anos de 1980 e 2018, foram identificados 13 trabalhos de pós-graduação de arquitetos e engenheiros com enfoque na arquitetura de povos indígenas. Dentre as principais publicações, destacam-se pela riqueza de informações e dados etnográficos

arquitetônicos o livro “Habitações Indígenas” (1983) organizado pela antropóloga Sylvia Caiuby Novaes; o capítulo do livro “Suma Etnológica Brasileira: Tecnologia indígena”, intitulado “Habitação Indígena Brasileira” (1986), de Maria Heloísa Fénelon da Costa e Hamilton Botelho Malhano; e mais recentemente o livro de José Afonso Portocarrero “Tecnologia Indígena em Mato Grosso: Habitação”, publicado em 2010 e relançado em 2018 (Troncarelli, 2019).

Sob o ponto de vista quantitativo, existem poucos trabalhos que abordam a temática da arquitetura indígena no Brasil, embora esta quantificação tenha sofrido um acréscimo desde a década de 1980. Para Costa e Malhano (1986), a dissertação da arquiteta Cristina Sá, defendida em 1982, era até então a única obra voltada para o estudo da arquitetura indígena, no caso, do povo Xavante.

Nesse contexto, o estudo ora apresentado se mostra relevante se, além da situação de apagamento de culturas e destruição de saberes tradicionais, considerarmos também a carência no campo de estudos do patrimônio e de pesquisas sobre a arquitetura desenvolvida pelos povos originários do Brasil, sobretudo pelo recorte tecnológico, estrutural e construtivo. Também se mostra uma forma de trabalhar com a documentação dessas tipologias arquitetônicas indígenas, assegurando, assim, a salvaguarda de nossa herança e patrimônio cultural por meio da modelagem de informação para construção.

Nesse contexto, esta tese propõe um recorte tecnológico, estrutural e construtivo da arquitetura desenvolvida pelos povos originários do Brasil. Esta pesquisa surge, portanto, como uma oportunidade de trabalhar com a documentação dessas tipologias arquitetônicas indígenas aplicando métodos e técnicas da modelagem de informação para construção (BIM).

2.2 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa é executar a modelagem BIM de estruturas de madeira presentes na arquitetura indígena brasileira como forma de documentação e preservação desse bem cultural; além da investigação acerca da possibilidade de registro de dados etnográficos imateriais (patrimônio imaterial), por meio de dados semânticos (informações não geométricas) atribuídos como metadados (dados sobre os dados) aos elementos do modelo BIM.

A tese tem como objetivo aplicar a metodologia HBIM na documentação e salvaguarda do patrimônio material e imaterial arquitetônico indígena do Brasil. Para tanto, essa tese terá como objetivos específicos:

- a) Investigar o uso da metodologia HBIM na documentação de edificações tradicionais dos Povos Xavante, Paresí e Kamayurá;
- b) Testar a inserção de dados etnográficos como forma de dados semânticos atribuídos ao modelo BIM;
- c) Construir um modelo HBIM para uma habitação indígena do povo Kamayurá no software Autodesk Revit 2024;
- d) Construir um modelo HBIM para uma habitação indígena do povo Paresí no software Autodesk Revit 2024;
- e) Construir um modelo HBIM para uma habitação indígena do povo Xavante no software Autodesk Revit 2024;
- f) Documentar por meio da metodologia HBIM o processo construtivo e os saberes envolvidos na construção de uma casa tradicional A'uwe Xavante.

2.3 METODOLOGIA

A presente pesquisa é realizada por meio de uma extensa revisão bibliográfica sobre os diferentes assuntos englobados pelo tema central, do aprofundamento e compreensão das diversas ferramentas e da realização de experimentos práticos e análise de dados.

2.3.1 Pesquisa sobre fundamentos e estado da arte do HBIM na documentação arquitetônica

Na primeira etapa, foi realizada uma conceituação da tecnologia BIM, seus principais usos e aplicações e o estado da arte com o levantamento das publicações sobre o uso da tecnologia BIM na documentação e preservação de patrimônio arquitetônico (HBIM). Esta etapa incluiu: (i) a pesquisa sobre a tecnologia BIM, seus aspectos teóricos e metodologias aplicadas visando a documentação arquitetônica;

(ii) a pesquisa sobre o estado da arte em técnicas digitais de levantamento cadastral e sobre aplicações do 3D *laser scanner*; (iii) a pesquisa de exemplos de aplicações dos modelos HBIM em projetos de intervenção e reabilitação de edifícios históricos; e (iv) o estudo sobre os diversos tipos de modelos geométricos que podem ser obtidos através das “nuvens de pontos”, incluindo ferramentas e processos.

2.3.2 Conhecimento dos fundamentos e estado da arte em arquitetura indígena no Brasil

Na segunda etapa, foi realizado um levantamento das publicações acerca do tema da arquitetura indígena no Brasil e da utilização do HBIM como documentação de patrimônio histórico arquitetônico, incluindo: (i) a pesquisa sobre o estado da arte da arquitetura indígena brasileira e revisão bibliográfica sobre o tema; (ii) a pesquisa sobre a conceituação e os fundamentos da arquitetura indígena brasileira como patrimônio material e imaterial; e (iii) a documentação e preservação do patrimônio material e imaterial indígena brasileiro.

2.3.3 Estudo de caso 1: modelagem HBIM de edificações indígenas por meio de fontes secundárias de dados espaciais

A terceira etapa da pesquisa consiste na realização de experimentos práticos com as ferramentas selecionadas e testadas na modelagem de edificações tradicionais da arquitetura indígena brasileira, divididas e selecionadas a partir do critério de tipologias estruturais e arquitetônicas. Primeiro, foi realizada a modelagem HBIM de três edificações indígenas brasileiras, a partir de fontes secundárias de dados métricos e inserção de dados etnográficos como dados não geométricos. Posteriormente, foi feita a análise e comparação dos produtos obtidos, segundo a qualidade, suas características e possíveis aplicações. Por fim, discutiu-se sobre as potencialidades e limitações dessas tecnologias para documentação de patrimônio arquitetônico material e imaterial.

Como fonte de informação para a modelagem das estruturas do primeiro estudo de caso da pesquisa, serão usados os levantamentos presentes nas publicações “Manual de arquitetura Kamayurá” (Escola da Cidade; Povo Kamayurá,

2019), produzido pela instituição Escola da Cidade em São Paulo juntamente com o povo Kamayurá da aldeia de Ipavu e “Tecnologia Indígena no Mato Grosso” (Portocarrero, 2018) do professor José Afonso Botura Portocarrero.

2.3.4 Estudo de caso 2: modelagem HBIM de edificação tradicional Xavante por meio de fontes primárias de dados espaciais

No segundo estudo de caso desta pesquisa, foram utilizados dados espaciais de fontes primárias, coletados diretamente no local por meio de aerofotogrametria por *drone*. As etapas foram divididas em planejamento da captura, aquisição das imagens, processamento das imagens e modelagem de informação da construção do patrimônio (HBIM).

Os dados capturados foram processados no software Agisoft Metashape® para a geração de modelo tridimensional por nuvens de pontos, usado como referência para a modelagem BIM das estruturas levantadas com o uso da ferramenta Autodesk Revit®. Dados etnográficos sobre a edificação e o processo construtivo foram atribuídos como metadados aos elementos do modelo como forma de documentação do patrimônio imaterial.

2.4 ESTRUTURA BÁSICA DA TESE

O conteúdo desta tese está distribuído em oito seções principais a serem discriminadas nesta seção.

- a) Seção 1 – Apresentação: Na primeira seção, foram demonstradas as principais motivações que levaram a esta pesquisa, sejam sociais ou pessoais.
- b) Seção 2 – Introdução: O primeiro capítulo trata da situação atual do tema, expõe o objetivo geral e os objetivos específicos da pesquisa, o problema que motiva a pesquisa e o resultado desejado e explicita a metodologia empregada na investigação e o tratamento dos dados colhidos.
- c) Seção 3 – Modelagem de Informação da Construção do Patrimônio: Esse capítulo versa sobre os conceitos básicos do BIM e seus principais usos. Também define os conceitos das dimensões BIM e conceitua o HBIM como

ferramenta de registro de patrimônio arquitetônico. Nesse capítulo são conceituados os tipos de dados usados na modelagem HBIM e apresentadas as técnicas de levantamento cadastral. Ainda é apresentado o fluxo de trabalho *scan-to-BIM* e o estado da arte da aplicação da tecnologia HBIM para diferentes casos.

- d) Seção 4 – Arquitetura Indígena Brasileira: Trata do estado da arte da arquitetura indígena no Brasil. São apresentados os principais estudos acerca do tema, relacionando também a topologia na arquitetura indígena e a aplicação de novas tecnologias para a documentação do patrimônio material e imaterial indígena.
- e) Seção 5 – Estudo de caso 1: Esse capítulo trata da aplicação prática das ferramentas BIM para a modelagem de edificações Xavantes apenas com o uso de fontes secundárias de dados como desenhos, fotos, textos e arquivos CAD.
- f) Seção 6 – Estudo de caso 2: Esse capítulo versa sobre o trabalho de campo etnográfico para a documentação do processo construtivo de uma edificação de uso residencial unifamiliar do povo A'uwe Xavante. Nele, são apresentados os processos de captura de dados por fontes primárias (aerofotogrametria) e modelagem de informação da construção patrimonial para a arquitetura indígena.
- g) Seção 7 – Conclusões: Contém a discussão sobre os resultados, seguida de uma discussão e síntese do trabalho apontando quais as principais conclusões apuradas.
- h) Seção 8 – Propostas para estudos futuros: Finalmente, são apresentados possíveis desdobramentos da pesquisa, além de estudos correlatos a serem desenvolvidos a partir do tema estudado.

3 MODELAGEM DE INFORMAÇÃO PARA CONSTRUÇÃO DO PATRIMÔNIO

O campo da arquitetura, engenharia e construção, também conhecido mundialmente pela sigla AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação) passa por um processo de mudança de mentalidade e quebra de paradigmas com o advento da tecnologia *Building Information Modeling* (BIM). As novas tecnologias computacionais promovem uma mudança na mentalidade dos profissionais e uma mudança no fluxo de trabalho usual (Eastman; Teicholz; Sacks, 2008; Murphy; McGovern; Pavia, 2009; Praia, 2016).

3.1 BIM: MODELO DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Trata-se de uma tecnologia de modelagem e um grupo associado de processos para produção, comunicação e análise do modelo de construção. O conceito BIM envolve tecnologias e processos cujo objetivo é desenvolver uma prática de projeto integrada, na qual todos os participantes converjam seus esforços para a construção de um modelo único de edifício.

Na definição de Eastman *et al.* (2008), em “The BIM Handbook”:

Os modelos são caracterizados por: componentes construtivos, que são representados digitalmente e de forma inteligente que “sabem” o que eles são, ou seja, estão associados a dados, atribuições e regras paramétricas inseridas no modelo gráfico; componentes que incluem dados que descrevem como eles se comportam, sendo utilizados para análises de processos de trabalho (Eastman; Teicholz; Sacks; Liston, 2008, p. 11 - 12).

Com o processo BIM, a troca de informações entre os intervenientes do projeto torna-se mais intensa e precisa, o que permite uma melhor gestão do processo não só na fase de projeto e construção como também nas fases de uso e manutenção, ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação. A plataforma BIM contribui desde as fases iniciais de concepção de um edifício, fase de projeto e construção até a fase de uso e manutenção de uma edificação. Por processo de uso e gestão entende-se também ações de conservação e documentação de edifícios de valor histórico e patrimonial.

Segundo o guia da Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura (ASBEA), o entendimento dos usos dos modelos BIM, por sua vez, permitirá a

definição do que deve ou não ser modelado, de que forma e em que momento de amadurecimento do projeto essas informações serão extraídas. Os usos BIM conforme as definições da ASBEA estão descritos no Quadro 1:

Quadro 1 — Usos BIM: os diferentes usos BIM aplicados às fases de projeto

| PLANEJAMENTO | PROJETO | CONSTRUÇÃO | OPERAÇÃO |
|-----------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|----------|
| Modelagem de Condições Existentes | | | |
| Estimativas de Custos | | | |
| Planejamento | | | |
| Programação | | | |
| Análises Locais | | | |
| Revisão de Projetos | | | |
| Design Autoral | | | |
| Análise Estrutural | | | |
| Análise Luminotécnica | | | |
| Análise Energética | | | |
| Análise Mecânica | | | |
| Análise de Outras Engenharias | | | |
| Avaliação LEED Sustentabilidade | | | |
| Validação de códigos | | | |
| | Coordenação Espacial 3D | | |
| | Planejamento de Utilização | | |
| | Projeto do Sistema Construção | | |
| | Fabricação Digital | | |
| | Planejamento de Controle 3D | | |
| | | Modelagem de Registros | |
| | | Planejamento de Manutenção | |
| | | Análise do Sistema de Construção | |
| | | Gestão de Ativos | |
| | | Gerenc. de Espaços/Rastreamento | |
| | | Planejamento contra Desastres | |

Fonte: Reproduzido de CBIC (2016, p.18).

O guia da Pennsylvania State University, “BIM Execution Planning Guide” (Messner et al., 2011), relaciona um conjunto de 21 possíveis usos da ferramenta BIM, ao longo das fases de projeto, construção e operação do empreendimento, conforme lista abaixo (Quadro 2):

Quadro 2 — BIM: 21 usos possíveis (Messner, 2019, p. 79-129)

| BIM: 21 usos possíveis | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| 1. Planejamento manutenção predial | 11. Coordenação 3D |
| 2. Análise de sistemas de construção | 12. Autoria de projeto |
| 3. Gestão de ativos | 13. Análise de engenharias |

| | |
|---|---|
| 4. Gerenciamento de espaço 5. Planejamento de desastres 6. Modelagem “ As-built ” 7. Planejamento local 8. Projeto do Sistema de Construção 9. Fabricação digital 10. Controle e planejamento 3D | 14. Avaliação de sustentabilidade 15. Validação de código 16. Avaliações de design 17. Programação. 18. Análise do local 19. Planejamento (Modelagem 4D) 20. Estimativa de custos 21. Modelagem condições existentes |
|---|---|

Fonte: elaborado com base em Messner (2019).

Portanto, o modelo tridimensional BIM pode ser aplicado a diversos usos ao longo de todo o ciclo de vida da edificação. A definição de quais os objetivos a serem alcançados com a utilização da tecnologia irá nortear as características e as informações necessárias a serem agregadas ao modelo.

Para o caso de levantamento das condições existentes e para a documentação de edifícios já construídos, os usos de BIM podem incluir também o gerenciamento de ativos patrimoniais, monitoramento das condições, planos de conservação e fabricação digital assistida.

Portanto, a aplicação da tecnologia BIM pode contemplar também o uso do modelo paramétrico para a preservação e gestão de edificações existentes e de valor histórico e patrimonial. O presente estudo mostra de que forma pode-se incluir como potencial uso do BIM a gestão de ativos culturais do patrimônio arquitetônico material e imaterial.

3.2 HBIM: MODELO DE INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO DO PATRIMÔNIO

A tecnologia BIM foi inicialmente planejada para o gerenciamento dos processos de construção e do ciclo de vida na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). O BIM *as-built*, ou seja, o modelo de informação do edifício assim como foi construído contribui para a representação de características físicas e funcionais de edifícios existentes por meio da captura de dados baseada na realidade e engenharia reversa.

O acrônimo HBIM aparece inicialmente em estudos como de Murphy, McGovern e Pavia, (2007), que mostram o processo de modelagem paramétrica a

partir de levantamentos feitos por imagens e escaneamento *laser* de uma edificação clássica do século XVII. Trata-se de um dos primeiros estudos a citar a terminologia HBIM para a modelagem de informação de edifícios históricos. Para Dore et al. (2014), o HBIM consiste em um processo de engenharia reversa em que os elementos arquitetônicos são mapeados usando varredura a *laser* ou fotogrametria e os dados levantados são combinados a objetos paramétricos, gerando o chamado modelo BIM *as-is*, o modelo do edifício assim como é.

O produto gerado pela tecnologia HBIM é um modelo geométrico completo, incluindo detalhes do objeto como materiais e métodos construtivos. A partir deste modelo, poderão ser extraídas diversas informações que, sistematizadas, podem gerar desenhos técnicos (plantas, cortes, perspectivas etc.), vídeos (passeios virtuais interativos, evolução cronológica do edifício), imagens (vistas), análises (mapa de danos, deformações estruturais, estado de conservação etc.) e simulações (requalificações, restauros digitais, anastilose digital etc.).

Esses estudos citados acima (Dore et al., 2014; Murphy; McGovern; Paiva, 2009) foram pioneiros ao tratar do assunto e propor o acréscimo de uma letra aoacrônico BIM ao englobar o uso da plataforma na conservação do patrimônio histórico. Os autores defendem que todo elemento arquitetônico de valor patrimonial também pode ser visto como um arquivo histórico único, uma fonte preciosa de informações primárias a partir das quais qualquer pesquisa, investigação ou atividade de conservação poderão ter acesso e se utilizar desses dados.

Portanto, os softwares de modelagem BIM podem atribuir tanto, informações geométricas (dimensão, volume, entre outras), como informações não geométricas (propriedades físicas, material, resistência e quaisquer outros parâmetros). Dessa forma, podem ser inseridos parâmetros e metadados que documentem e registrem também o patrimônio cultural imaterial.

Tal definição possibilita uma relação entre os conceitos de informação geométrica e não geométrica presentes na plataforma BIM e o conceito de patrimônio material (tangível) e imaterial (intangível) definidos pela UNESCO e pelo Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN).

Para Yang et al. (2020), o HBIM é adequado para a recriação de um edifício histórico a partir de dados de descrição existentes (como documentos históricos, referências bibliográficas, fotografias, desenhos etc.). O HBIM *as-built* é cada vez mais

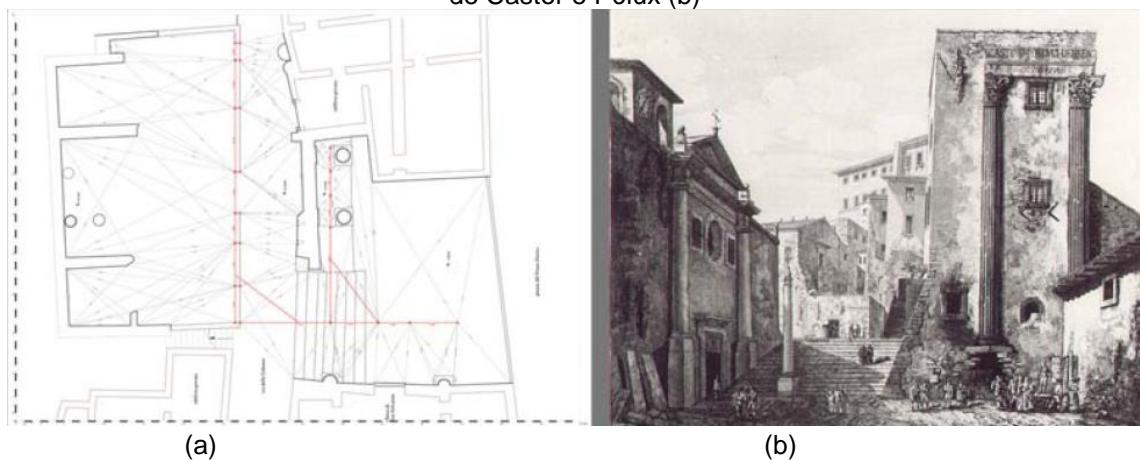
usado para restaurar, modelar e gerenciar construções valiosas e estruturas históricas existentes usando modelos baseados na realidade, normalmente desenvolvidos por meio de escaneamento a laser, fotogrametria e modelagem por nuvem de pontos. (Yang et al., 2019, 2020).

Apesar de sua ampla adoção no mercado da construção civil para o projeto e gestão de novos edifícios, o uso do BIM na documentação e registro de bens culturais arquitetônicos ainda está em processo de desenvolvimento. Trata-se de um campo vasto a ser explorado, uma ferramenta a mais para auxiliar o processo de documentação e conservação do patrimonial cultural material e imaterial.

Simeone et al. (2018), no artigo intitulado “*B(H)IM – Built Heritage Information Modeling* – Expandindo a abordagem BIM para a representação do patrimônio histórico e arqueológico”, reconhecem a modelagem segundo o processo BIM (*Building Information Modeling*) como uma tecnologia que pode colaborar com a documentação e registro de bens culturais arquitetônicos, tanto materiais como imateriais.

O estudo de caso apresentado no artigo trata do templo Coríntio de Castor e Pólux na Itália, datado da época do século I a.C. Como fonte de dados de pesquisa foram utilizados tanto dados métricos adquiridos a partir de levantamento cadastral físico quanto desenhos e croquis históricos do século XIX do artista Luigi Rossini (Figura 4).

Figura 4 — Heterogeneidade de dados métricos (a) e desenhos do séc. XIX de Rossini, templo Grego de Castor e Pólux (b)



Fonte: Reproduzido de Simeone (2008, p. 615).

O estudo de Simeone et al. (2018) mostram que, na grande parte dos processos de documentação arquitetônica vigente, as informações são coletadas, documentadas e disponibilizadas virtualmente pelos diferentes profissionais. No

entanto, para Simeone et al. (2018), esse conhecimento costuma ser inacessível, pois está difundido entre diferentes disciplinas e restrito a várias “ilhas de conhecimento” não integradas.

Simeone et al. (2018) defendem que mesmo quando parte destes dados são agregados à pesquisa e usados na intervenção, isso não é efetivamente representado no modelo do patrimônio construído e, logo, não é totalmente acessível ou aproveitável pelos especialistas envolvidos nas diferentes fases do processo de documentação e preservação. Com isso, dados úteis sobre o elemento, seu contexto e a possíveis metodologias de interpretação e intervenção estão enterrados em pilhas de documentos, arquivos digitais e bancos de dados (Simeone et al., 2018).

No Brasil já existem ações no sentido de tornar acessíveis à comunidade os dados patrimoniais gerados pela documentação, estudos que priorizam a participação direta da comunidade detentora de uma cultura ou história. (Nogueira, 2023).

De fato, diante do problema de informações sobre elementos de valor patrimonial histórico pulverizadas em diferentes repositórios de dados com um problema relevante em termos de parcialidade e duplicação de dados, o BIM pode auxiliar a concentrar e organizar esses dados em um único conhecimento base que funciona como um dossiê eletrônico de referência do objeto e de livre acesso, durante todo o processo de investigação e conservação.

Logo, segundo Silva e Cuperschmid, (2022), a compreensão da metodologia HBIM ainda está muito relacionada à documentação geométrica do patrimônio edificado, principalmente nas questões que dizem respeito ao desenvolvimento de modelos paramétricos e bibliotecas de famílias relacionadas.

No entanto, Silva e Cuperschmid (2022) defendem que a metodologia HBIM não deve comportar apenas as informações geométricas, a partir da compreensão de que a geometria é apenas uma fração daquilo que é esperado para fins do desenvolvimento de um projeto de restauro e conservação.

Tolentino (2018) na sua tese “A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico” mostra como essa tecnologia se aplica aos processos de registro e manutenção do patrimônio arquitetônico e qual relação pode ter com os sistemas e tecnologias disponíveis nos órgãos governamentais, como o IPHAN, na preservação do patrimônio construído.

Segundo a autora, em se tratando da gestão dos dados levantados, o IPHAN esclarece que o SICG:

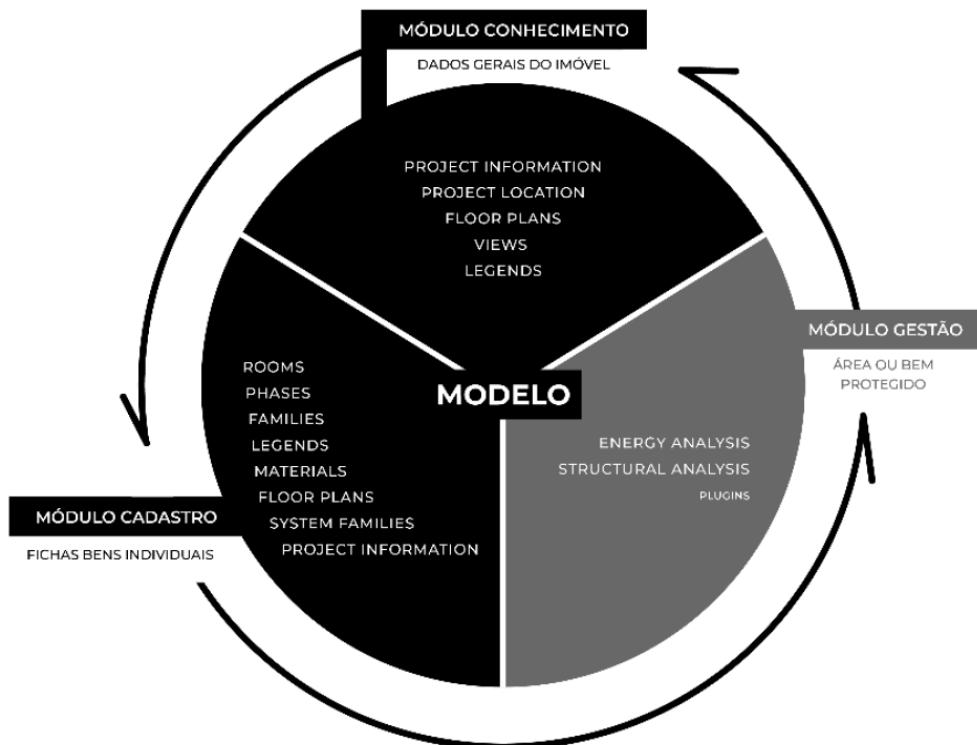
Além de propor um modelo e metodologia única de documentação e inventário de bens culturais, [...] possibilita o cadastro unificado dos bens culturais, constituindo a base de uma cartografia do Patrimônio, uma vez que todos os bens serão georreferenciados e classificados conforme sua categoria e recortes temático e territorial dos estudos. [...] Atualmente o SICG está estruturado em base Word e Excel. Mas o Iphan vem trabalhando para a construção de um sistema informatizado, cujos usuários serão, além do Iphan, os estados, municípios e entidades parceiras como universidades, centros de estudo, museus e outros (IPHAN, 2014, *apud* Tolentino, 2018, p. 29).

Chaves, Galvão e Galvão (2020), no artigo de nome “HBIM e arquitetura moderna, protocolo para documentação” defendem que a falta de informações sistematizadas sobre a produção arquitetônica compromete o reconhecimento de seu valor cultural pela sociedade e, por consequência, dificulta seu processo de documentação e preservação.

Chaves, Galvão e Galvão (2020) mostram de que forma o uso da tecnologia BIM pode auxiliar no processo de documentação e preservação de um conjunto de residências modernas na cidade de Aracaju (bens imóveis mais suscetíveis e vulneráveis às flutuações do mercado imobiliário) e na elaboração de um protocolo para documentação e registro de dados gráficos e semânticos seguindo metodologia de inventariação do Sistema Integrado de Conhecimento e Gestão (SICG-IPHAN).

No estudo de Chaves, Galvão e Galvão (2020), a coleta de dados históricos foi realizada por meio de fontes primárias do arquivo público da cidade e entrevista com os proprietários da edificação. A organização dos dados seguiu a estruturação dos módulos do SICG: (1) Conhecimento (dados gerais sobre o imóvel); (2) Cadastro (Informações históricas, culturais e físicas do imóvel); e (3) o módulo Gestão (bens já documentados). Assim, modelos paramétricos organizados dessa maneira seguem a estrutura de inventariação do IPHAN (Figura 5).

Figura 5 — Diagrama da relação entre módulos SICG (Conhecimento, Cadastro e Gestão) e o Modelo Paramétrico (arquivo modelo) em desenvolvimento através do programa Revit



Fonte: Reproduzido de Galvão *et al.* (2018).

Diante da falta de um sistema de documentação e gestão do patrimônio arquitetônico que utilize as tecnologias digitais, de forma adequada, nesse estudo de Chaves, Galvão e Galvão (2020), propõe-se a utilização do HBIM (*Historic Building Information Modeling*) a fim de tornar a documentação mais fundamentada e completa, a gestão dos bens mais eficaz e a preservação do Patrimônio Arquitetônico mais efetiva.

De acordo com Simeone *et al.* (2018) as informações relacionadas ao patrimônio cultural carecem de correlação entre si para expressar plenamente o seu verdadeiro valor. Além disso, o raciocínio semântico é essencial para aprimorar a representação do conhecimento dos edifícios de valor histórico, exigindo um ambiente de modelagem em que os dados e as entidades estejam ligados em um sistema relacional, revelando algumas informações que de outra forma ficariam “ocultas”.

Os sistemas baseados em ontologias permitem a representação de elementos não apenas por meio da descrição de suas propriedades, mas também pela formalização das relações que existem entre elas. Com base nisso, Simeone *et al.* (2018) propuseram um modelo BIM integrado a uma base de conhecimento, a fim de

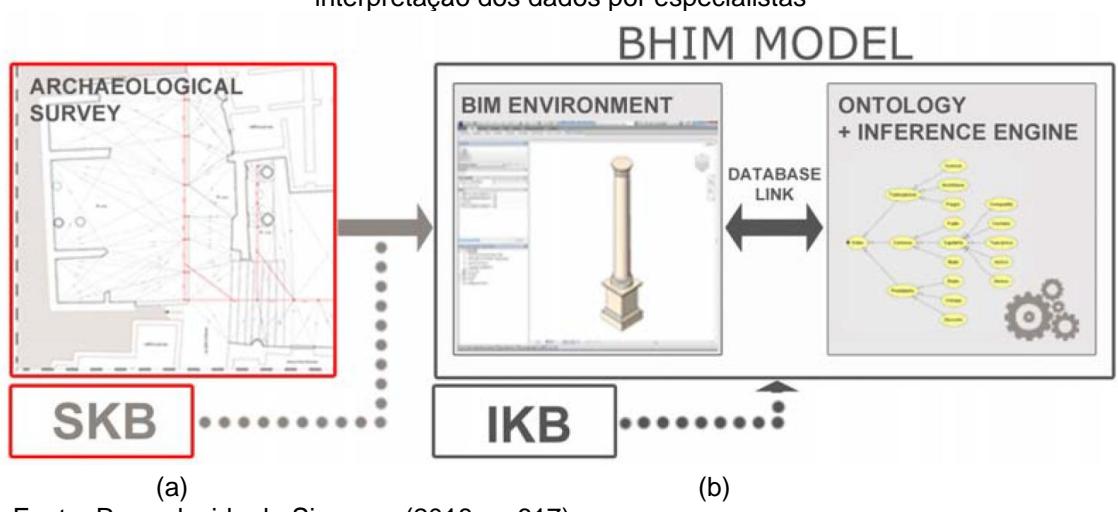
abranger uma formalização suficientemente precisa e computável do conhecimento relacionado ao artefato (edifício histórico) e seus componentes.

O núcleo do modelo apresentado é a integração de um ambiente de modelagem baseado em BIM e uma base de conhecimento desenvolvida por meio de ontologias, a fim de representar toda a semântica necessária para uma representação abrangente do elemento histórico. Para testar suas características, o modelo foi aplicado ao processo real de investigação arqueológica do templo de Castor e Pólux em Cori, Itália.

Simeone *et al.* (2018) mostra que, no campo da AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação), o BIM assumiu a tarefa de proporcionar um ambiente de modelagem onde a informação geométrica e alguns dados não tangíveis são estruturados numa base de dados coerente. Porém, sua perspectiva baseada em componentes ainda deixa de fora do modelo uma grande quantidade de conhecimentos e dados não diretamente relacionados aos componentes do elemento, mas ainda necessários para representar totalmente o objeto como dados tangíveis e intangíveis sobre processos construtivos e simbolismos culturais.

Por esta razão, no estudo de Simeone *et al.* (2018), esta base de dados, integrada com um motor de inferência, permite incluir e computar os dados fornecidos pelos diferentes atores e todo o conhecimento necessário no processo de pesquisa (Figura 6).

Figura 6 — Conceitualização do HBIM: O ambiente BIM é a base de conhecimentos para representar os dados colhidos durante o levantamento- SKB – Survey Knowledge Base (a) e – IKB – interpretação dos dados por especialistas



Fonte: Reproduzido de Simeone (2018, p. 617).

Diferentemente da indústria AECO, em que cada elemento é definido e modelado em todas as suas partes e propriedades, na metodologia BIM aplicada aos edifícios patrimoniais, muitas vezes, alguns componentes não são claramente identificáveis e categorizáveis (especialmente no início do processo de pesquisa). Na pesquisa de Simeone *et al.* (2018), para contornar este problema, algumas classes ontológicas foram desenvolvidas de forma a representar “objetos desconhecidos” em termos de suas características geométricas e materiais, aguardando uma interpretação posterior que deveria associá-los às suas reais categorias. Desta forma, cada ator pode ver quais entidades ainda não foram identificadas, classificadas e, com base em seu conhecimento e experiência, pode fornecer sugestões para sua interpretação e classificação, melhorando gradualmente a integridade do modelo.

Durante a fase de levantamento *in loco*, uma grande quantidade de dados é associada a cada um desses elementos categorizados em termos de propriedades, valores e relacionamentos. Esse conhecimento (definido como *Survey Knowledge Base – SKB*) representa todas as informações que podem ser obtidas diretamente por meio de variadas atividades de investigação, dependendo das diferentes disciplinas de projeto consideradas (para dimensões, morfologia, topologia, informações de materiais, cargas térmicas, taxa de deterioração, datação por carbono etc.). Quando um elemento é associado a uma classe, ele herda todas as propriedades necessárias para atingir um nível de representação adequado, ajudando os profissionais a entenderem quais informações precisam coletar do sítio e quais estão faltando.

Dessa forma, o modelo HBIM fornece um único banco de dados em que os atores podem adicionar e editar dados coletados ao longo de todo o processo de pesquisa. Como resultado, as informações modeladas estão sempre atualizadas e o próprio modelo pode ser considerado como um registro dos resultados das atividades de investigação e interpretação.

A memória acerca dessas tecnologias construtivas, os materiais aplicados e a relação entre os elementos construtivos e a cultura de cada povo, transmitida muitas vezes pela tradição oral, devem ser preservados como parte fundamental desse patrimônio material e imaterial a ser salvaguardado.

Na Escola de Arquitetura e Urbanismo Azrieli, da Universidade Canadense de Carleton, em Ottawa, foi criado o centro de pesquisa Carleton Immersive Media Studio (CIMS) afiliado à Faculdade de Engenharia e Design. Na última década, o CIMS

produziu uma série de pesquisas relacionadas ao emprego de novas tecnologias na documentação e preservação do patrimônio arquitetônico canadense e internacional. O centro de pesquisa construiu uma reputação internacional trabalhando com parceiros públicos, privados e sem fins lucrativos. As pesquisas produzidas demonstram o valor da integração de novas e emergentes tecnologias digitais para a reabilitação arquitetônica, a conservação do patrimônio e a indústria de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) em geral. A agenda de pesquisa do CIMS é pioneira nessa área entre as instituições acadêmicas do Canadá.

Cultural Diversity and Material Imagination in Canadian Architecture (CDMICA) é um projeto de desenvolvimento de parceria, criado no Carleton Immersive Media Studio (CIMS) financiado pelo Conselho de Pesquisa em Ciências Sociais e Humanas do Canadá (SSHRC). O objetivo do CDMICA é estabelecer uma plataforma digital para uma rede de profissionais e estudiosos preocupados com a conservação e gestão de conhecimentos relacionados com métodos vernaculares e etnoculturais de construção no Canadá. O CDMICA reúne acadêmicos, profissionais de patrimônio e líderes da indústria em desenvolvimento de software para investigar os possíveis benefícios que a tecnologia e modelagem de informações de construção (BIM) pode oferecer para a gestão do conhecimento na documentação, conservação e manutenção do patrimônio arquitetônico.

A segunda parte dessa pesquisa foi desenvolvida no laboratório CIMS em Ottawa como parte do projeto “Novas ferramentas/Novos paradigmas”. O laboratório tem uma longa trajetória de pesquisa em documentação de arquitetura e de técnicas construtivas vernaculares e foi fundamental no processamento das imagens e dados espaciais.

Fai *et al.* (2013) no artigo de título “Parametric Modelling (BIM) for the Documentation of Vernacular Construction Methods: A Bim Model for the Commissariat Building” mostram de que forma o conhecimento das técnicas tradicionais de construção vernacular são essenciais para a conservação do patrimônio construído. Nessa pesquisa, Fai *et al.* (2013) incluem a avaliação do formato de arquivo Industry Foundation Classes (IFC)³ como um possível padrão

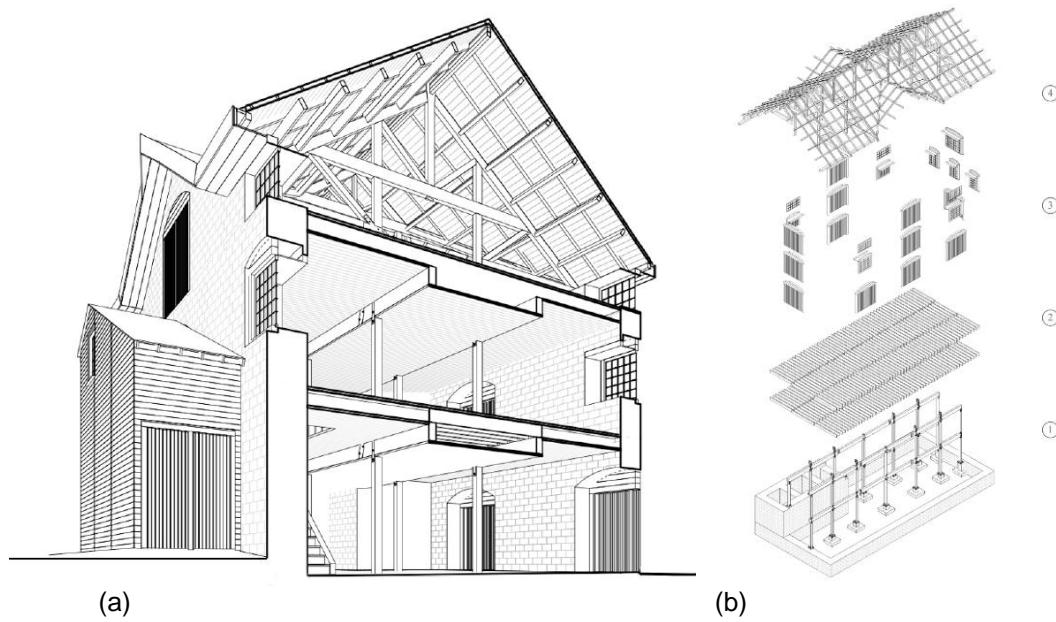
³ O IFC refere-se a uma extensão de arquivo neutra/aberta e a um formato de arquivo BIM não proprietário desenvolvido pela organização *buildingSMART*. A maioria dos aplicativos BIM suportam a importação e/ou exportação dos arquivos IFC.

internacional para documentação patrimonial e a integração de dados de nuvem de pontos – obtidos por meio de digitalização a laser e fotogrametria - em um ambiente BIM.

Para a criação do modelo HBIM do estudo de caso, Fai *et al.* (2013) utilizam outras fontes de dados, além de um levantamento métrico da arquitetura por meio de técnicas manuais de medição. A pesquisa, que tem como principal objetivo demonstrar o valor da modelagem BIM para a documentação do edifício histórico na capital canadense, descobriu desenhos de 1826, fotografias do final do século XIX e início do século XX e um conjunto abrangente de desenhos preparados para a Parks Canada em 1984.

Com base nessas informações, foi desenvolvido um modelo HBIM no Autodesk Revit, com categorias paramétricas ou “famílias” representando cada parte do edifício (Figura 4). Uma série de varreduras a laser terrestre georreferenciadas, capturadas por um Leica Scanstation 2, foram usados para mapear o local e para localizar com precisão o modelo na paisagem. Nesse caso, entretanto, a modelagem foi desenvolvida apenas com a utilização de fontes secundárias de dados, o escaneamento a laser e a nuvem de pontos gerada na pesquisa não foram utilizados na modelagem BIM. (Figura 7):

Figura 7 — Modelagem da Informação da Construção Histórica: corte perspectivado do modelo HBIM (a) e modelo HBIM explodido em categorias paramétricas (b)



Fonte: Reproduzido de Fai *et al.* (2013, p. 117 - 119).

O estudo conclui que o modelo detalhado em BIM do Edifício do Comissariado pode servir como a base para um plano de conservação e reabilitação da edificação histórica, mas também contribui para o entendimento das razões históricas do edifício ser como é. Conhecendo o número exato de parafusos nas juntas de uma treliça, a origem da madeira, quem a construiu e a origem do construtor, pode-se facilmente montar um planejamento de preservação e conservação de uma edificação de valor patrimonial histórico.

3.3 HBIM E A DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA

Segundo Amorim (2017), a documentação arquitetônica exerce um papel fundamental na preservação da memória do patrimônio cultural edificado. Para Amorim (2017), a documentação é uma ação necessária “[...] dada a impossibilidade da preservação física de todos os exemplares arquitetônicos significativos [...]”.

Segundo Groetelaars (2015), por muito tempo o conceito de documentação arquitetônica esteve diretamente ligado ao conceito de cadastro (levantamento métrico), ou seja, a precisa e detalhada representação gráfica das características geométricas e físicas da edificação, do terreno e dos demais elementos físicos presentes na área a ser levantada. Para a autora, o cadastro preciso de uma edificação de interesse cultural é um instrumento imprescindível para diversas aplicações, além do valor simbólico, documental e afetivo, servindo como base para o estudo mais detalhado de sua evolução histórica, para avaliação das deformações estruturais e para a gestão e manutenção do ativo patrimonial.

A definição atual de documentação arquitetônica vai além das atividades de aquisição e arquivamento de dados, passando a ser entendida como um sistema mais amplo que pode ser dividido em cinco macroetapas, descritas a seguir (Groetelaars, 2015; Historic England, 2017):

- a) Planejamento: definição dos objetivos e recursos a serem adotados;
- b) Aquisição de dados: captura de dados primários em campo e compilação de fontes secundárias;
- c) Processamento dos dados: tratamento, análise e manipulação das informações para geração dos produtos desejados;

- d) Gerenciamento dos dados: indexação, armazenamento, recuperação, disponibilização e publicação dos dados e informações produzidas;
- e) Controle e documentação dos processos: análise de diversos aspectos do projeto de documentação implementado, como os procedimentos e recursos adotados e a qualidade dos produtos gerados.

A primeira etapa, de planejamento, trata da definição do uso da documentação, dos recursos disponíveis (captação e gestão), dos prazos e dos produtos requeridos. Estas delimitações possibilitam a determinação das tecnologias e metodologias de trabalho a serem empregadas, com relação ao nível de detalhe, às características e à precisão dos resultados esperados.

A etapa de aquisição de dados tem como objetivo extrair das edificações as informações referentes às características físicas (dados geométricos), sua relação com o entorno, os aspectos históricos, culturais, sociais (dados não geométricos) dentre outros, por meio da captura de dados primários (em campo) e secundários (a partir de fontes documentais). As demais etapas são apresentadas na próxima seção.

Assim como a tecnologia BIM permite incorporar tanto informações qualitativas quanto quantitativas sobre um ativo construído para representar características físicas e funcionais, pode também fornecer simulações da aparência, desenvolvimento e desempenho de um ativo. Características intangíveis, como valores e significância patrimoniais, podem ser integradas ao modelo 3D de forma estruturada e consistente, o que permite extração de informações e a produção de dados entregáveis. No entanto, uma abordagem sistemática é necessária ao decidir, no início, quais elementos são essenciais para evitar uma situação excessivamente complexa (Historic England, 2017).

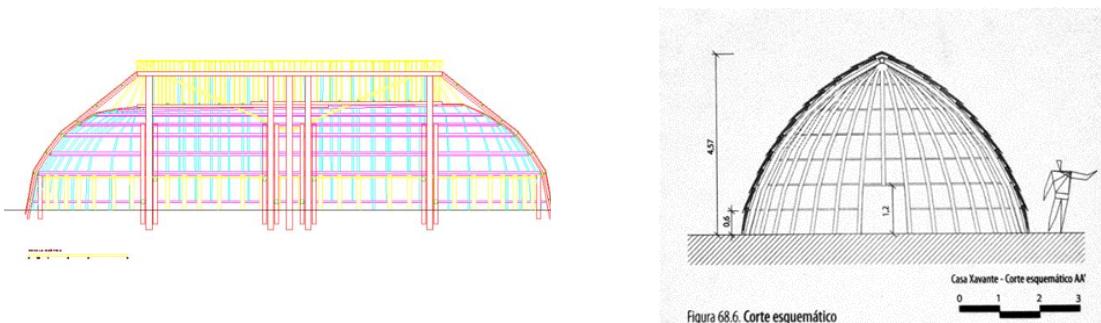
3.3.1 Tipos de dados na modelagem HBIM

Na abordagem HBIM (Modelagem da Informação da Construção de Patrimônio), os princípios de dados métricos, dados gráficos e dados não geométricos são fundamentais para a elaboração de representações completas e exatas de estruturas históricas. Segue uma descrição de cada categoria:

3.3.1.1 Dados Métricos

São compostos por informações quantitativas, medidas das dimensões do objeto, tais como comprimentos, áreas, volumes e distâncias. Normalmente estes dados são estruturados de forma manual a partir da transferência do levantamento métrico manual (desenhos de campo) para arquivos em CAD (desenhos técnicos digitais). A outra forma que os dados métricos se apresentam é como uma nuvem de pontos, produzida diretamente do equipamento de *laser scanning* - de forma automática - ou de técnicas de fotogrametria - semiautomática (Figura 8).

Figura 8 — Exemplos de dados métricos utilizados na pesquisa: levantamento métrico em DWG da casa Hök Kamayurá (a) e dados métricos casa Rí povo Xavante (b)



(a)

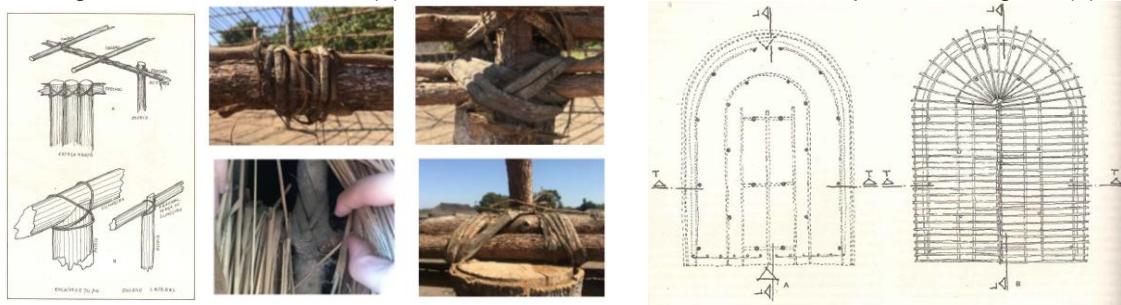
(b)

Fontes: Escola da Cidade e Livro Tecnologia Indígena no Mato Grosso: habitações.

3.3.1.2 Dados Gráficos

Refere-se a representações gráficas do objeto, que incluem ilustrações, gravuras, croquis (desenhos técnicos não verificados), diagramas, fotos, pinturas e outras informações gráficas com valor histórico e patrimonial sobre o objeto. As informações visuais auxiliam a compreender a disposição e as particularidades do objeto.

Figura 9 — Exemplos de dados gráficos utilizados na pesquisa: croquis sobre nós e amarras e fotografias dos mesmos nós (a) e Desenhos não verificados sobre arquitetura indígena (b)



(a)

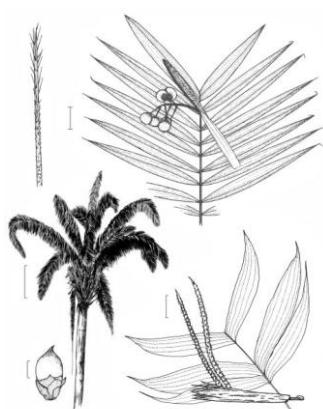
(b)

Fontes: Manual de arquitetura Kamayurá (2019) e Livro Suma Etnológica Brasileira (1986).

3.3.1.3 Dados Não Geométricos

Informações e metadados sobre a edificação e seus elementos como contextos históricos, cronologia construtiva, propriedade dos materiais, manuais técnicos, entrevistas, costumes e rituais construtivos e quaisquer outros dados etnográficos e outras informações que atribuem valor a esse bem enquanto patrimônio cultural a ser preservado (Figura 10).

Figura 10 — Exemplos de dados não geométricos utilizados na pesquisa:(a) informações botânicas sobre os materiais construtivos (b) Rituais e outros dados etnográficos relativos à construção



(a)



(b)

Fontes: Noel Villas Bôas/Wikimedia Commons.

Groetelaars (2015) defende que, para a captura dos dados referentes às características físicas das edificações, devem ser utilizados alguns métodos de levantamento arquitetônico. Dentre os mais adequados pode-se citar: (1) Medição direta, que consiste na coleta manual de medidas no local, sendo adequada para edificações de menor porte e de fácil acesso; (2) Métodos topográficos, que utilizam

instrumentos como teodolitos e estações totais para a determinação de ângulos e distâncias, permitindo o mapeamento detalhado do terreno e das construções; (3) Fotogrametria digital, técnica baseada na análise de imagens capturadas por câmeras, geralmente acopladas a drones, que possibilita a geração de modelos tridimensionais e ortofotos com alta precisão; e (4) Nuvem de pontos, proveniente de tecnologias como o Modelo Digital de Superfície (DSM) e a Varredura a *Laser* (*Laser Scanning*), que registra milhões de pontos no espaço tridimensional, oferecendo um detalhamento e acurácia superiores na representação das superfícies edificadas.

Atualmente, as técnicas fotogramétricas digitais, sobretudo a obtenção de “nuvens de pontos”, seja por varredura a *laser* ou por fotografias, representam o estado da arte em se tratando de obtenção de dados geométricos de edificações de valor cultural e histórico. Essas técnicas possibilitam a aquisição de grande quantidade de informações, de modo mais preciso e rápido se comparadas com os métodos tradicionais (Groetelaars, 2015). Segundo Groetelaars (2015), são obtidos melhores resultados quando há a integração de diferentes tecnologias e plataformas (terrestres e aerotransportadas), principalmente quando se trata de objetos de geometria complexa e quando são requeridos diferentes níveis de detalhe.

Na etapa de processamento de dados, tem-se o tratamento, a análise e a manipulação dos dados com o objetivo de se obter os produtos requeridos na etapa de planejamento. Os estudos mostram que melhores resultados têm sido alcançados quando utilizadas técnicas que permitem a obtenção de informações tridimensionais diretamente sobre o objeto real.

Para Groetelaars (2015), o processo de gerenciamento de dados deve ser feito de maneira adequada e pode variar de acordo com o uso definido para a documentação, a fim de possibilitar o armazenamento, a recuperação e a disponibilização das informações produzidas. Nessa etapa, normalmente estão envolvidas diferentes áreas do conhecimento como a Ciência da Informação e a Ciência da Computação, em tarefas como a identificação, indexação e armazenamento de dados e seus metadados e na implementação de bancos de dados multimídia para gerenciar o acesso, o controle e a manutenção das informações.

A última etapa do processo de documentação arquitetônica refere-se ao controle e documentação dos processos, a chamada metadocumentação, que

envolve a produção de relatórios com análise crítica sobre os produtos e processos. Segundo Groetelaars (2015), essa etapa é primordial para apoiar o planejamento de trabalhos futuros, tendo em vista o desenvolvimento de métodos mais eficientes e produtos de melhor qualidade.

Os produtos tradicionais da documentação arquitetônica são os desenhos (plantas baixas, cortes, fachadas, seções e detalhes) e os modelos geométricos (3D) produzidos através de ferramentas CAD. Porém, o paradigma BIM representa uma evolução do modelo geométrico (modelo CAD tradicional) com a inclusão de metadados ao modelo, o que torna a documentação arquitetônica mais completa e consistente, aprimorando, assim, o acesso e a atualização dos dados.

Torna-se possível, portanto, a geração de diversos outros produtos com base no modelo BIM criado. Desenhos, modelos realistas, quantitativos e animações e impressões 3D, por exemplo, servem como uma base importante para a documentação e preservação de edificações culturais históricas. Além disso, é possível exportar o modelo BIM por meio de formatos universais, como o já mencionado IFC, para outros programas compatíveis com a tecnologia BIM, para a realização de análises (estruturais, climáticas, entre outras). Pode-se, também, disponibilizar tais informações em diversos sistemas, como bancos de dados multimídia, realidade virtual (RV) e realidade aumentada (RA) na plataforma *web*, entre outros.

Segundo Smith e Quintero (2018), no artigo “Digital workflow for the conservation and sustainability of historic places”, a documentação por meio de técnicas digitais de captura e processamento de imagem de edifícios, lugares e paisagens históricas, desempenha um papel fundamental na gestão do patrimônio cultural. Os dados obtidos durante a documentação orientarão a manutenção, o monitoramento e a conservação contínua de lugares patrimoniais, apoiarão intervenções e a reabilitação do tecido histórico e fornecerão material para interpretação e disseminação para um público mais amplo. Para os autores, em alguns casos mais extremos, onde os locais estão passando por mudanças radicais, processos de apagamento ou estão inacessíveis, a documentação pode servir como o único meio pelo qual um local pode ser compreendido (Smith; Quintero, 2018).

O Comité International de la Photogrammétrie Architecturale (CIPA), fundado em 1968, tem como principal objetivo promover e apoiar importantes ações de

documentação do patrimônio histórico. O comitê, um braço do órgão International Council of Monuments and Sites (ICOMOS), diretamente ligado à UNESCO, fomenta a aplicação das tecnologias digitais de medição às disciplinas de documentação do patrimônio arquitetônico. A missão do CIPA⁴ é apoiar o desenvolvimento de princípios e práticas e a criação de ferramentas e técnicas especializadas na documentação e gerenciamento de informações para todos os aspectos do patrimônio cultural.

O CIPA indica o uso da chamada regra 3x3 na fotogrametria, publicada originalmente por Waldhäusl e Ogleby (1994), e que tem como objetivo padronizar os processos de aquisição de imagens para documentação fotogramétrica em arquitetura. Trata-se de uma diretriz fundamental para garantir a qualidade e a precisão na captura de imagens para a documentação e modelagem de ambientes. Para Leal (2022), essa regra tem como principal objetivo assegurar que as imagens obtidas sejam adequadas para a criação de modelos 3D confiáveis e detalhados (England, 2017; Leal, 2022; Waldhäusl; Ogleby, 1994).

A regra tem esse nome por estar dividida em três principais itens cada um com três subitens e oferece um protocolo que integra não apenas diretrizes para a captura de imagens, mas também um conjunto de regras geométricas (Figura 11), fotográficas (Figura 12) e organizacionais. Essas regras são fundamentais para garantir a precisão e a eficiência na obtenção de dados fotogramétricos, conforme descrito a seguir (Quadro 3):

Quadro 3 — Regras 3x3 de fotogrametria

| Regras Geométricas | Regras Fotográficas | Regras Organizacionais |
|----------------------------------|------------------------|--------------------------------|
| Controle | Propriedades da câmera | Método de registro fotográfico |
| Cobertura Fotográfica Geral | Calibração da câmera | Registro de metadados |
| Cobertura Fotográfica de Detalhe | Exposição das imagens | Arquivo |

Fonte: Reproduzido de Waldhausl e Ogleby (1994) *apud* Historic England (2017).

As 3 regras geométricas asseguram que o modelo tridimensional construído seja métrico, ou seja, criado em uma escala dimensional real. Esses procedimentos são importantes para a conferência de medidas reais possibilitando análises

⁴ Disponível em: <https://www.cipaheritedocumentation.org/about/whatiscipa/>. Acesso em: 05 out. 2024

criteriosas. Para Leal (2022), o controle também viabiliza ações de monitoramento da qualidade dos modelos construídos, o que permite a detecção e correção de erros. A manutenção de uma escala consistente nas imagens é crucial, pois a variação na distância de captura pode afetar a proporção dos objetos, comprometendo a análise. Portanto, assegurar a proporcionalidade é fundamental para a precisão das medições (England, 2017; Leal, 2022; Waldhäusl; Ogleby, 1994).

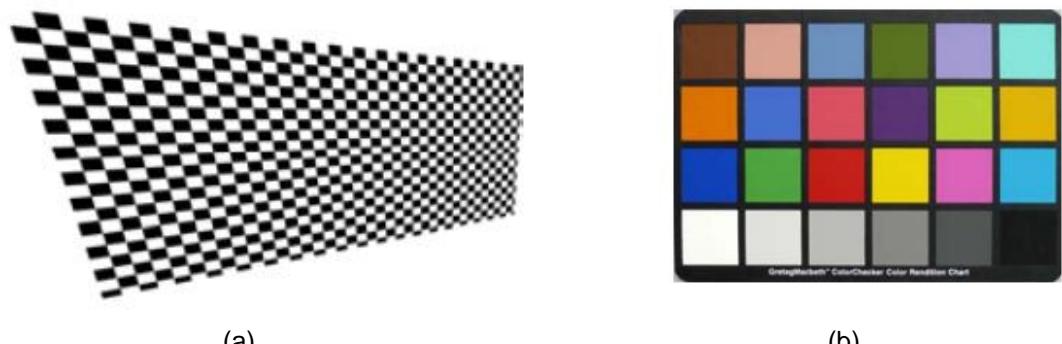
Figura 11 — Regras geométricas: Cobertura Fotográfica Geral



Fonte: Reproduzido de Waldhäusl e Ogleby (1994).

As 3 regras fotográficas têm como finalidade aumentar a qualidade dos modelos no tocante ao detalhe dos polígonos e texturas, facilitar os processos de alinhamento de pontos e, consequentemente, tornar todo o trabalho muito mais eficiente. A qualidade da iluminação é vital na fotogrametria. Imagens devem ser capturadas em condições de iluminação controladas para evitar sombras indesejadas. A nitidez das imagens também é essencial. Por isso, o uso de tripés e a escolha de configurações de câmera adequadas são práticas recomendadas para evitar desfoques, pois um bom foco é imprescindível para a captura de dados e para a análise detalhada dos objetos.

Figura 12 — Regras Fotográficas: Calibração da câmera (a) e ajuste das cores com Colorcheck Passport (b)

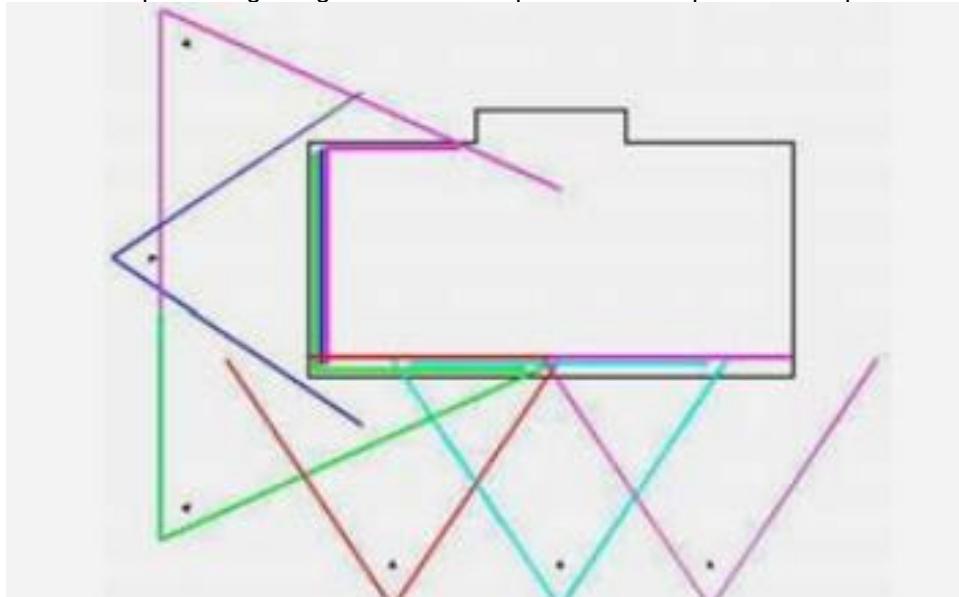


Fonte: Reproduzido de Waldhäusl e Ogleby (1994).

As regras organizacionais (Figura 13) abordam a gestão do processo de captura e análise, assegurando um fluxo de trabalho eficiente. Essas regras são extremamente importantes para as áreas do estudo patrimonial, pois regem o armazenamento e a organização dos conjuntos de dados obtidos, com a sua consulta, análise e reutilização no futuro em vista.

Manter um registro detalhado de cada etapa do processo é fundamental. Notas sobre condições de captura, equipamentos e configurações de câmera facilitam a análise posterior e a reprodução do processo. Após a captura, a validação da qualidade das imagens é essencial. Essa etapa garante que todas as regras foram seguidas e que os dados coletados atendem aos critérios estabelecidos para análise fotogramétrica.

Figura 13 — Exemplo de regra organizacional: Mapeamento dos pontos de captura de imagens



Fonte: Reproduzido de Waldhäusl e Ogleby (1994).

Portanto, as regras geométricas, fotográficas e organizacionais são fundamentais para a aplicação eficaz da regra 3x3 de Waldhäusl e Ogleby (1994) na fotogrametria. Ao seguir as diretrizes dessa regra, pode-se garantir a coleta de dados de alta qualidade, resultando em modelos tridimensionais precisos e eficientes.

O rápido surgimento das novas tecnologias digitais revolucionou a prática de registrar lugares patrimoniais. Ferramentas e mídias digitais oferecem uma gama de novas oportunidades para coletar, analisar e disseminar informações sobre bens e lugares de valor patrimonial e histórico.

Atualmente os processos de aquisição de dados espaciais como a forma, as dimensões e as demais características de um objeto, que anteriormente demandavam tempo e recursos significativos, tornaram-se cada vez mais ágeis e eficazes. Com os avanços tecnológicos, a digitalização do ambiente físico passou a ser um procedimento relativamente acessível, rápido e com elevado grau de precisão. Esse cenário tem levado a uma certa vulgarização dos processos de documentação do patrimônio por tecnologias digitais, provocada não só pela facilidade de acesso a essas tecnologias como também pela grande quantidade de projetos, plataformas *online* e repositórios de dados patrimoniais, alavancados pelo sentimento generalizado de necessidade de preservação do patrimônio cultural, diante dos inúmeros episódios de destruição dos bens que compõem a herança cultural mundial (Nogueira, 2023, p. 22).

Para Nogueira (2023), as técnicas de captura que registram aspectos físicos e volumétricos (dados métricos), como a forma dos objetos, dimensões e outras características, estão mais acessíveis e eficientes, tornando a digitalização do mundo físico um processo relativamente simples, rápido e preciso. Sensores de captura de dados métricos do ambiente já são encontrados em diversos modelos de aparelhos telefônicos móveis.

Com a facilidades de acesso a tecnologias de captura de dados tridimensionais também surge a necessidade de incorporar as tecnologias digitais de documentação na educação de profissionais de conservação. Questões relacionadas aos usos adequados, inovadores e focados em pesquisa de mídia digital na conservação do patrimônio são tópicos urgentes no campo da conservação do patrimônio global.

Para Groetelaars (2015), existem outras formas de documentação além dos modelos CAD e BIM, como os documentos históricos, as fotos, os vídeos, os panoramas fotográficos e os *tours* virtuais. Os *tours* virtuais agregam possibilidades de visualização do espaço representado e são muito utilizados em aplicações web como recurso de visualização dinâmica de imagens e vídeos panorâmicos.

3.3.2 Técnicas de levantamento cadastral para HBIM

A modelagem da informação da construção histórica (HBIM) é uma abordagem que integra a metodologia BIM no processo de documentação, análise e preservação

do patrimônio arquitetônico preferencialmente com o emprego de tecnologias digitais de levantamento métrico. Essa abordagem destaca-se pela capacidade de criar representações tridimensionais detalhadas de edificações históricas. A aplicação de técnicas digitais de levantamento é fundamental para garantir a precisão e a riqueza dos modelos criados.

As técnicas de levantamento digital, como *terrestrial laser scanning* (TLS), sensor LIDAR⁵ e fotogrametria, são classificadas, segundo Graham, Chow e Fai (2018), como fontes primárias de dados. Essas metodologias permitem a coleta de informações diretamente do ambiente construído, resultando em dados que refletem com precisão a realidade física das edificações.

Existem basicamente três tipos de *laser scanner* aplicados ao levantamento arquitetônico digital: terrestre (TLS), móvel (LIDAR) e aéreo (aviões, *drones*). O escaneamento a *laser* é uma das principais técnicas de captura de dados espaciais, considerada fonte primária de dados. Esta técnica utiliza feixes de *laser* para registrar a geometria de uma superfície, gerando nuvens de pontos distribuídos espacialmente que representam com exatidão as características físicas das edificações. A precisão do *laser scanner* é essencial para capturar detalhes complexos que poderiam ser perdidos em levantamentos tradicionais. Essa tecnologia possibilita uma documentação detalhada e precisa das edificações, sendo crucial para a criação de modelos *as-is* de preexistência.

Fotogrametria é uma técnica de levantamento que permite obter informações métricas e geométricas de objetos e superfícies a partir da análise de imagens fotográficas. Fundamenta-se na estereoscopia, ou seja, na obtenção de pares de imagens capturadas de diferentes ângulos, possibilitando a reconstrução tridimensional da cena representada. A aerofotogrametria, por sua vez, utiliza imagens aéreas, permitindo a documentação de grandes áreas com eficiência. A utilização de *drones* em aerofotogrametria oferece uma visão abrangente das estruturas e seu entorno, essencial para a documentação de edifícios históricos. A aerofotogrametria é especialmente útil em áreas de grande extensão ou em locais de difícil acesso (Historic England, 2017; Silva et al., 2022).

⁵ O scanner LiDAR é um tipo de sensor de profundidade que realiza mapeamento 3D com precisão, utilizando pulsos de laser. Pode ser encontrado em smartphones, carros autônomos, drones e dispositivos de realidade aumentada.

Para Graham, Chow e Fai (2018), o processo de modelagem baseia-se na integração de diferentes tipos de dados métricos. Os autores categorizam os tipos de fontes de dados métricos a serem usados. As fontes primárias, como *terrestrial laser scanner* (TLS), sensor LIDAR, a fotogrametria e o modelo por nuvem de pontos, são resultantes de medições diretas sobre o objeto e fornecem dados geométricos precisos que auxiliam a modelagem HBIM.

Por outro lado, as fontes secundárias, que incluem desenhos técnicos verificados, arquivos CAD, croquis, fotografias e textos descritivos, os chamados dados heterogêneos, também servem como base de dados métricos para suporte à modelagem e para melhorar a compreensão das edificações. Essa integração garante que os modelos sejam não apenas visualmente representativos, mas também metricamente exatos.

Desenhos arquitetônicos, fotografias históricas, croquis e textos são fontes secundárias de dados, não obtidos diretamente no objeto, mas que também servem para embasar a modelagem HBIM. As fotografias históricas, os desenhos técnicos e os arquivos CAD são úteis para a compreensão do estado original das edificações e para a modelagem (Graham; Chow; Fai, 2018).

A combinação de informações primárias e secundárias enriquece a modelagem e promove um entendimento mais profundo das narrativas culturais e históricas associadas às edificações. Essa abordagem permite que profissionais e pesquisadores trabalhem em conjunto para preservar o patrimônio arquitetônico, a memória e a cultura.

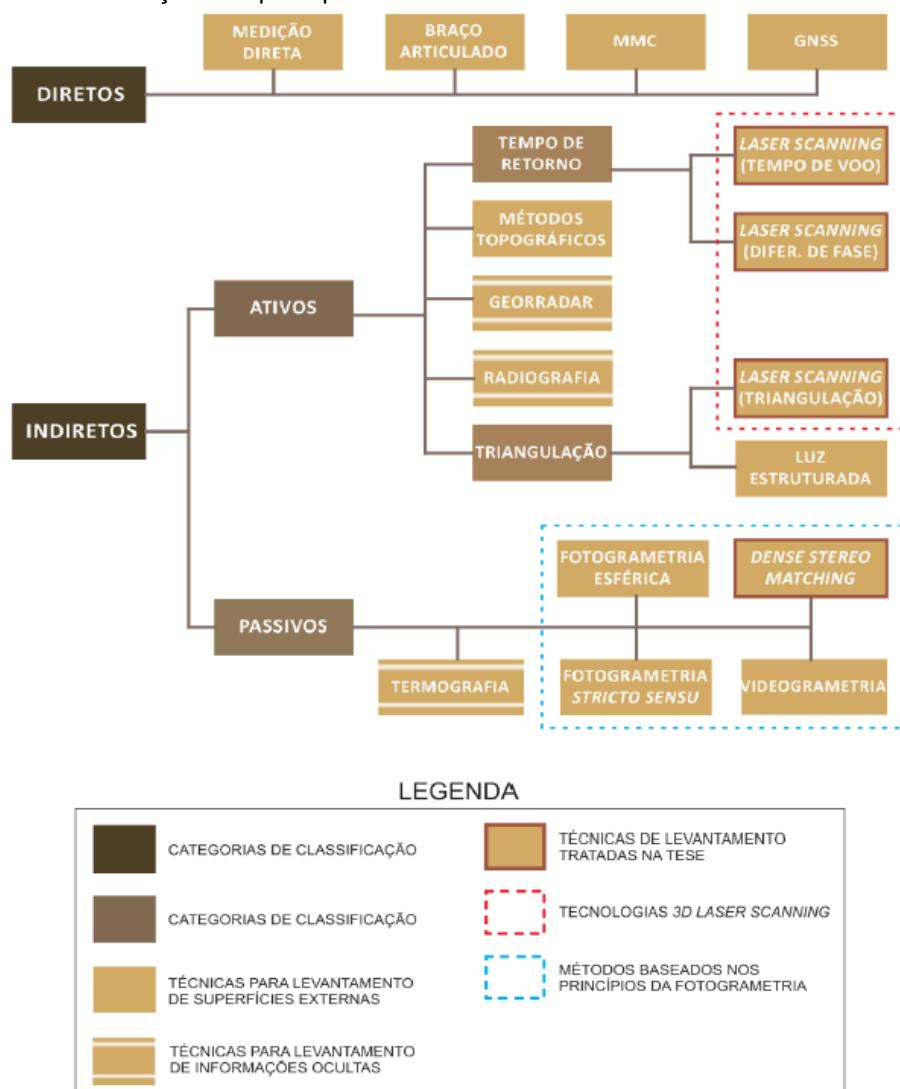
Para Groetelaars (2015) existem diversas tecnologias que podem ser aplicadas ao processo de levantamento cadastral de uma edificação. Devido à grande quantidade de técnicas torna-se complexa a tarefa de classificação e categorização. Groetelaars (2015) divide os métodos de levantamento cadastral em duas grandes categorias: métodos diretos e indiretos, em que os indiretos são divididos em ativos ou passivos.

São considerados diretos os métodos em que é necessário o contato físico do operador ou do equipamento utilizado (trena analógica, por exemplo) com o objeto ou área a ser levantada. Nos métodos indiretos, a medição é realizada a distância, ou seja, sem contato direto com o objeto ou trecho de interesse. O diagrama a seguir (Figura 14) organiza em conjuntos essa categorização das diferentes técnicas de

levantamento. Na aplicação da técnica de medição direta, o profissional responsável pela aquisição dos dados determina em campo os principais pontos de interesse a serem levantados. Essa técnica é eficaz em se tratando de levantamento de objetos/edificações menos complexas sob o ponto de vista formal.

Para Groetelaars (2015) essa técnica se mostra como a mais indicada para o levantamento de objetos/edificações simples e de pequenas dimensões, uma vez que é necessário o contato direto do operador a cada ponto a ser medido, fato que dificulta o emprego da técnica em edificações maiores. Nos casos de levantamentos mais precisos deve-se associar a técnica de medição direta ao uso da estação total (localização geoespacial por satélite) para a obtenção das coordenadas geográficas pelo sistema de posicionamento global (GPS) e pontos de controle para aumentar a acurácia do levantamento.

Figura 14 — Classificação das principais técnicas de levantamento cadastral de uma edificação



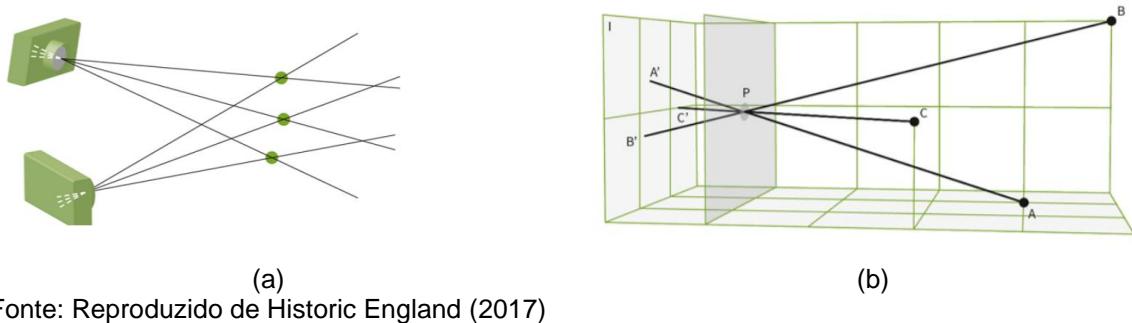
Fonte: Reproduzido de Groetelaars (2015, p. 61).

3.4 AEROFOTOGRAMETRIA POR DRONE: O VOO DO PÁSSARO

De acordo com o Historic England (2017), quando uma imagem for capturada por uma câmera fotográfica convencional, qualquer ponto naquela imagem representa a convergência de muitos raios de luz. Para fins fotogramétricos, o raio de interesse, chamado raio principal, é aquele que teoricamente passa em linha reta do ponto do objeto (A, B, C), através do centro de perspectiva (ou projeção) na parte traseira do conjunto de lentes (P) e no plano da imagem (I) nas posições A', B' e C', respectivamente (Figura 15b).

Então, a interseção dos raios principais que representam o mesmo ponto do objeto em imagens diferentes definirá a posição do ponto do objeto no espaço (Figura 15a).

Figura 15 — Princípios básicos de aquisição de dados métricos por fotografias: Intersecção de raios entre duas imagens definindo pontos no espaço 3D (a). Princípio do “raio principal” de incidência de luz em qualquer objeto (b).



Fonte: Reproduzido de Historic England (2017)

De acordo com a International Society for Photogrammetry Remote Sensing (ISPRS), a fotogrametria é a aquisição de medidas precisas e confiáveis a partir de fotografias; e o sensoriamento remoto é a obtenção de informações sobre um objeto a partir de um dispositivo a distância, sem contato com esse objeto. A fotogrametria pode ser classificada a partir de diversos aspectos, tais como distância ao objeto, tipos de objetivo, tamanho do objeto a ser modelado, equipamentos utilizados, entre outros (Granshaw, 2020 *apud* Silva et al., 2022).

O desenvolvimento de novas tecnologias nas últimas décadas, principalmente nos campos do conhecimento referentes à transmissão de imagens, aos acumuladores de energia (baterias) e à evolução dos sistemas de navegação global por satélites (GNSS), viabilizou o surgimento da chamada aeronave remotamente pilotada (*Remotely-Piloted Aircraft – RPA*), também conhecida como *drone*.

Atualmente, os *drones* são dispositivos que se popularizaram com diferentes modelos, preços e usos, empregados desde nas atividades de recreação até no uso em fotogrametria, por exemplo (Silva et al., 2022).

De acordo com Silva et al. (2022), as etapas de desenvolvimento da técnica de aerofotogrametria por *drone* vão desde o planejamento das missões (voos) para aquisição dos dados primários, geralmente fotografias, até a geração de resultados, tais como modelo digital de superfície (MDS), modelo digital de terreno (MDT) e nuvem de pontos e ortomosaico (NPO).

De acordo com o Historic England (2017), na fotogrametria, a qualidade da saída é dependente da qualidade da entrada. Uma fotografia ruim inevitavelmente levará a resultados imprecisos.

Os princípios básicos da fotogrametria, isto é, a estrutura do movimento (*structure from motion* - SfM) e estéreo multivisualização (*multi video stereo* - MVS), são técnicas que usam várias imagens para criar um modelo 3D de uma cena, mas diferem na forma como estimam a profundidade e a geometria:

Para Groetelaars e Leão de Amorim (2012), *dense surface modeling* (DSM) é um dos termos mais usados para tratar da técnica de obtenção de nuvens de pontos por processamento digital de imagens fotográficas. Também conhecida por *structure from motion* (SfM), DSM e *photo-based scanning*, dentre outras terminologias, essa tecnologia usa correspondência de dados para estimar a estrutura 3D de uma cena a partir de um conjunto de imagens 2D. SfM é uma técnica de sensoriamento remoto que pode ser usada em digitalização 3D, realidade aumentada e localização e mapeamento simultâneo visual (vSLAM).

Há também o princípio *Multi Video Stereo* (MVS), que usa correspondência de disparidade para estimar a profundidade e a geometria a partir de várias imagens 2D de uma cena. MVS é uma técnica de visão computacional que analisa as diferenças e semelhanças entre imagens para criar uma representação 3D.

SfM-MVS é uma abordagem combinada que usa técnicas SfM e MVS para criar uma nuvem de pontos 3D da geometria de um objeto. A nuvem de pontos pode, então, ser convertida em uma malha 3D texturizada.

O *workflow* para fotogrametria por processamento SfM, conforme o Historic England (2017), está descrito a seguir (Quadro 4). Segundo o manual, os metadados

são importantes em todos os estágios; alguns gerados automaticamente pelo **software**, enquanto outros devem ser gerados por aqueles que trabalham no projeto.

Quadro 4 — Workflow para fotogrametria por processamento SfM

| Workflow para fotogrametria por processamento SfM (Historic England, 2017) |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Planejamento e reconhecimento; • Aquisição de imagem; • Pré-processamento de imagem; • Importação de imagem; • SfM, cálculo de orientação interna e externa, identificação de IPs em todo o conjunto de imagens, formação de nuvem de pontos esparsa⁶ com base nesses IPs; • Incorporação de dados de controle, otimização de alinhamento; • MVS, formação de nuvem de pontos densa⁷ e projetando a maioria dos dados de pixel contidos nelas como pontos 3D; • Edição de nuvem de pontos densa (opcional); • Geração de outras saídas (malha de alta resolução, ortoimagens, DEMs etc.); • Processamento e análise dessas saídas em outro software (BIM, CAD, GIS etc.); • Apresentação de arquivo. |

Fonte: Historic England (2017).

De acordo com o Historic England (2017) todas as imagens devem ser verificadas antes de serem passadas pelo fluxo de trabalho, principalmente para remover aquelas que são de baixa qualidade, geralmente aquelas que estão completamente fora de foco ou exibem desfoque de movimento significativo como resultado de configurações incorretas da câmera ou do uso de quadros capturados do vídeo. Alguns softwares têm funcionalidade de avaliação de qualidade de imagem, como no caso do Agisoft Metashape. Porém, nenhum método é perfeito e uma inspeção visual das entradas é sempre aconselhável antes do início do processamento.

⁶ Nuvem de pontos esparsa refere-se a uma coleção inicial de pontos tridimensionais obtidos a partir de imagens fotogramétricas ou de laser, geralmente com um número reduzido de pontos georreferenciados. Este tipo de nuvem é gerado nas fases iniciais do processo de fotogrametria ou escaneamento a laser, quando as imagens ainda estão sendo alinhadas e orientadas espacialmente.

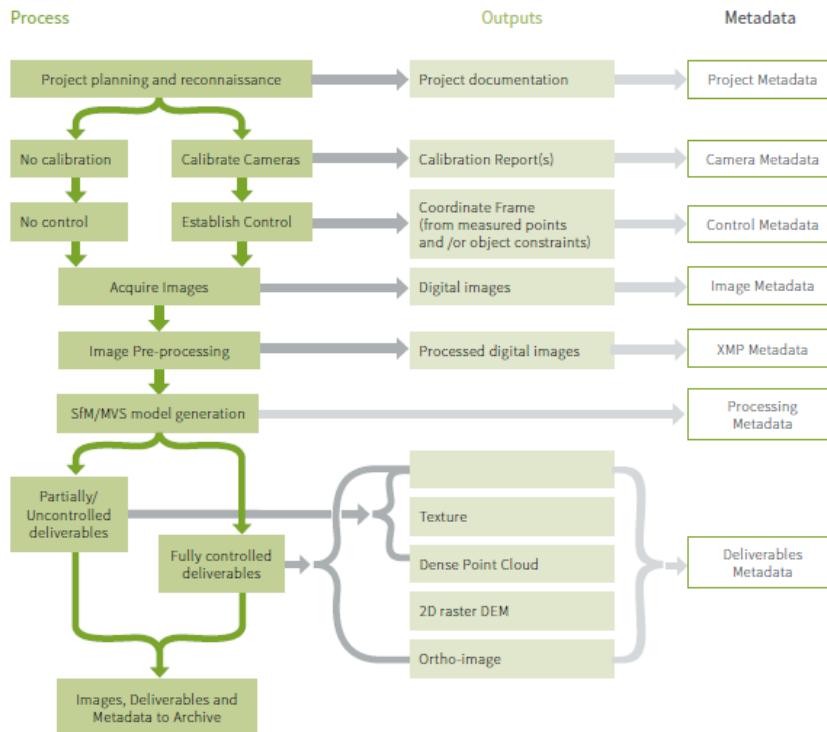
⁷ Nuvem de pontos densa é o resultado final do processamento fotogramétrico ou de escaneamento laser, quando os pontos são gerados com maior densidade e precisão, oferecendo uma representação detalhada e precisa da superfície digitalizada. Neste estágio, a nuvem de pontos apresenta uma maior quantidade de pontos por unidade de área, permitindo reconstruções tridimensionais mais refinadas e acuradas, sendo essencial para a modelagem de superfícies complexas e a criação de produtos como modelos 3D e ortofotos.

Imagens avulsas que não podem ser alinhadas corretamente podem ser removidas, desde que haja redundância suficiente nos dados de entrada, ou podem ser alinhadas manualmente com a introdução de pontos de controle de imagem locais. Além disso, áreas problemáticas de imagens, em alguns softwares, podem ser ocultadas com recursos de máscaras, para remover dados que não precisam ser reconstruídos. Essa ação economiza uma quantidade considerável de tempo posteriormente no processo.

Em um processo inicial, nuvens de pontos esparsas podem ser filtradas para remover pontos com altos erros de alinhamento ou incerteza de reconstrução. Contudo, segundo o Historic England (2017), deve-se evitar a remoção de muitos pontos durante a filtragem, pois a reconstrução pode ficar comprometida ou impossível. Se as imagens de entrada estiverem produzindo erros de alinhamento muito grandes que não podem ser mitigados, é provável que sejam de baixa qualidade ou que os parâmetros de calibração da câmera não possam ser determinados com precisão.

Os elementos básicos de um fluxo de trabalho fotogramétrico de curto alcance estão expressos em forma de diagrama (Figura 16) a seguir, conforme o manual para fotogrametria do Historic England (2017). A ordem em que algumas partes do fluxo de trabalho devem ser realizadas pode variar dependendo do software que está sendo usado, assim como as opções de refinamento disponíveis.

Figura 16 — Elementos básicos no fluxo de trabalho para fotogrametria



Fonte: Historic England (2017).

O Carleton Immersive Media Studio (CIMS), baseado na vasta experiência em projetos de documentação e preservação de patrimônio, desenvolveu um conjunto de protocolos para garantir a qualidade e a precisão na captura de dados métricos utilizando técnicas de fotogrametria. Esses protocolos abrangem planejamento, execução e processamento das imagens, proporcionando uma abordagem sistemática para projetos de fotogrametria, além de fornecer um passo a passo importante para a coleta de dados de alta qualidade.

3.4.1 Planejamento da Missão

O planejamento detalhado da missão de captura é a primeira etapa crucial. Um planejamento cuidadoso minimiza riscos e garante a cobertura adequada da área de interesse. Isso inclui:

- Definição da área de captura: identificar claramente a área a ser mapeada e seus limites;
- Seleção do equipamento: escolher *drones* equipados com câmeras de alta resolução, levando em consideração o tipo de sensor e a autonomia de voo;

- c) Configuração da rota de voo: planejar a rota do *drone* para garantir uma sobreposição de 60-80% entre as imagens, essencial para o alinhamento eficaz durante o processamento.

3.4.2 Condições Ambientais

As condições ambientais têm um impacto significativo na qualidade das imagens capturadas. O CIMS recomenda que as missões sejam realizadas em condições de luz controladas, evitando horas do dia em que a iluminação é muito intensa ou irregular. Como afirmam os protocolos, a luz difusa em dias nublados geralmente fornece os melhores resultados. (Dhanda et al., 2019; Hanke; Grussenmeyer; Streilein, 2002)

3.4.3 Execução da Captura

Durante a execução da captura, várias práticas devem ser seguidas:

- a) Verificação do equipamento: antes do voo, realizar uma inspeção completa do *drone* e do equipamento de captura;
- b) Monitoramento em tempo real: sempre que possível, acompanhar o voo em tempo real para ajustar a altitude e a posição do *drone* conforme necessário;
- c) Captura em múltiplos ângulos: capturar imagens de diferentes ângulos e altitudes para assegurar que todas as características do terreno ou objeto sejam documentadas;
- d) Inserir alvos para indicação dos pontos de controle georreferenciados.

3.4.4 Processamento das Imagens

Após a captura, o processamento das imagens é a próxima etapa. O uso de software de fotogrametria, como Agisoft Metashape ou Pix4D, é crucial para a criação de modelos 3D precisos. As etapas incluem:

- a) Alinhamento das imagens: utilizar as imagens capturadas para criar um modelo 3D, verificando a sobreposição e a qualidade da captura;

- b) Geração de nuvem de pontos: produzir uma nuvem de pontos a partir das imagens alinhadas, essencial para a modelagem 3D;
- c) Texturização: aplicar texturas nas superfícies do modelo 3D para melhorar a visualização e a análise.

3.4.5 Validação e Análise

Por fim, a validação dos dados é fundamental. Recomenda-se que os usuários realizem uma revisão detalhada do modelo 3D gerado, verificando a precisão e a consistência dos dados. A validação é um passo crítico que garante que os dados atendam aos padrões estabelecidos.

3.5 HBIM POR FONTES DE DADOS SECUNDÁRIAS

Costa *et al.* (2021) alerta que, apesar de grande parte dos estudos apresentarem uma definição de HBIM associada a ferramentas de captura, como escaneamento a *laser*, os métodos analógicos de medição também podem ser utilizados como fonte secundária de dados para a modelagem. Victorio e Groetelaars (2019) afirmam que o processo de modelagem HBIM também pode ser realizado por meio de levantamento cadastral e medição direta ou por informações de projetos existentes. (Costa et al., 2021; Victorio; Groetelaars, 2019)

Para Groetelaars (2015) a limitação desses métodos pode ocorrer em casos de formas complexas e irregulares, e as nuvens de pontos permitem acelerar o processo de levantamento dos dados geométricos e aumentar a precisão, porém, na maior parte dos casos, esses dados são usados apenas como base para a geração de desenhos, a conferência de dados existentes ou a modelagem de partes mais complexas da edificação.

Nesse sentido, a utilização da tecnologia BIM aplicada à documentação do patrimônio arquitetônico (a HBIM) mostra-se uma grande aliada na tarefa de salvaguarda do patrimônio cultural edificado. O processo de modelagem em HBIM pode agregar aos elementos construtivos tanto informações do patrimônio material (informações geométricas) como também informações do patrimônio imaterial

(informações não geométricas) como os saberes acerca da arquitetura e da tecnologia construtiva, por exemplo.

Groetelaars (2015) categoriza o termo “registro” em três diferentes níveis, a partir do nível de detalhamento e precisão: (1) de reconhecimento; (2) preliminar; e (3) detalhado. A autora adapta o quadro em que relaciona os tipos de registro aos usos específicos de cada nível aos modelos e níveis de precisão requeridos, além dos custos, tempo e profissionais necessários em cada fase. Apresenta ainda sugestões de uso, não só de ferramentas tradicionais como também digitais, para a captura das imagens vetoriais e *raster*, como o 3D *laser scanning* e a fotogrametria digital (Quadro 5).

O English Heritage (2006) classifica a documentação de edifícios históricos em quatro níveis, associando-os às informações a serem levantadas separadas pelas categorias: desenhos, fotografias e documentos textuais. Cramer; Breitling, (2007) classificam o levantamento em cinco níveis de precisão. Groetelaars (2015) defende uma categorização mais detalhada dos objetivos, das informações gráficas, das escalas e valores de tolerância apropriados para cada nível de detalhe.

A autora alerta que não se deve tratar do produto enquanto "desenho" (em diversas escalas e tipos), sem tocar nos outros tipos de dados relevantes na documentação arquitetônica, como fotografias, modelos geométricos, análise formal, histórica e funcional da edificação e seu entorno.

Quadro 5 — Nível de registro do patrimônio segundo Letellier (2007) apud Groetelaars (2015)

| | REGISTRO A RECONHECIMENTO (baixa precisão) | REGISTRO B PRELIMINAR (média precisão) | REGISTRO C DETALHADO (alta precisão) |
|-----------------------------------|---|--|--|
| FINALIDADE DO REGISTRO | Reconhecimento Inventário inicial Planejamento inicial Dados de referência | Planejamento Condições iniciais Investigação Pré-projeto Dados de referência Plantas e elevações (10 cm) Detalhes (2 cm) | "As found" ou "As-built" Projeto Construção Manutenção/ monitoramento Plantas e elevações (1 cm) Detalhes (2 mm) |
| PRECISÃO DOS DESENHOS | Sem escala | | |
| PRODUTOS | Levantamento fotográfico Mapa com indicação de estações fotográficas Anotação das condições gerais Esboços com anotações | Desenhos obtidos por levantamento cadastral Anotação de informações Levantamento fotográfico | Desenhos obtidos por levantamento cadastral Anotação de informações Levantamento fotográfico |
| CUSTO | Baixo | Moderado | Moderado a alto |
| TEMPO/EQUIPE | Poucos dias no sítio pela equipe de levantamento | Algumas semanas no sítio pela equipe de levantamento e profissionais de conservação | Tempo elevado em campo e muitas vezes uma atividade permanente realizada por equipe de levantamento e profissionais de conservação |
| RECURSOS TRADICIONAIS DE REGISTRO | Fotos Esboços | Esboços cotados Fotos de grande formato Fotos retificadas | Esboços cotados Fotos retificadas de grande formato Estereofotogrametria |
| RECURSOS DIGITAIS DE REGISTRO | IMAGENS VETORIAIS | Desenhos em CAD GNSS (de mapeamento) Fotogrametria aérea | Desenhos em CAD GNSS (de levantamento) Modelagem geométrica Fotogrametria Digital <i>3D Laser scanning</i> |
| | IMAGENS RASTER | Fotos digitais Digitalização de fotos Imagens de satélite Vídeos digitais | Fotos digitais Retificação de fotos Vídeos de alta resolução |

Fonte: Groetelaars (2015).

Groetelaars (2015) destaca que os três grupos de classificação se complementam e representam referência para determinação de aspectos como o nível de detalhe, tipos de informações a serem levantadas, escala e valores aceitáveis de tolerância, que devem estar associados à finalidade da documentação, às características específicas das edificações a serem documentadas e seu entorno, a extensão do levantamento, o tempo e os recursos disponíveis (financeiros e tecnológicos).

Canuto e Salgado (2016) alertam para a importância de entender que a escolha pela melhor tecnologia na preservação digital do patrimônio depende também das características do edifício. Existe uma variedade de opções para esse processo, mas a escolha deve atentar para o resultado que se deseja em relação ao custo de equipamento, softwares, precisão do modelo e processo de aquisição tridimensional, bem como a complexidade do bem a ser preservado.

Para as autoras, ao modelar digitalmente uma edificação existente, torna-se possível reviver as etapas de concepção da obra, uma vez que todas as informações relacionadas ao projeto – incluindo arranjo físico, especificações e tecnologias – são acessadas visando à construção digital do modelo. Logo, Canuto e Salgado (2016) defendem que a modelagem BIM de edificações históricas se revela, também, uma interessante alternativa para o ensino de história da arquitetura.

Segundo Groetelaars (2015), é importante incluir e considerar o paradigma BIM como um novo modo de documentação e gerenciamento das edificações (históricas ou não) ainda não tratado pelos guias e livros de documentação arquitetônica, associando os níveis de detalhe requeridos para determinadas finalidades às características próprias da modelagem BIM.

A tecnologia HBIM normalmente pressupõe o uso de técnicas de levantamento digital, como escaneamento a *laser* e fotogrametria aérea, para produzir nuvens de pontos que, exportadas para um ambiente espacial 3D de softwares BIM, auxiliam na modelagem e no uso de outros tipos de dados, como desenhos não verificados, textos, registros históricos, esboços e todos os outros dados que podem contribuir para a modelagem de edifícios de valor histórico.

De acordo com Graham, Chow e Fai (2018), o processo de digitalização de edifícios existentes em modelos de informações de construção requer a tradução de conjuntos de dados heterogêneos, como arquivos CAD, desenhos técnicos, textos históricos, desenhos de arquivo, escaneamento a *laser* terrestre e fotogrametria, em elementos de modelo 3D.

3.6 NÍVEIS DE DETALHE, INFORMAÇÃO E ACURÁCIA EM HBIM

De acordo com Santana e Groetelaars (2023), o HBIM é uma metodologia que que pode ser aplicada também em ações posteriores à construção, como

desenvolvimento de projetos de restauro, planos de conservação, manutenção, assim como análises e simulações de intervenções e monitoramento dessas edificações. A maioria dos protocolos de padronização dos modelos foi criada para a aplicação em edifícios existentes. Segundo Santana e Groetelaars (2023), os protocolos relacionados à padronização HBIM foram desenvolvidos com foco nos usos mais comuns do BIM, ou seja, a modelagem durante o processo de concepção do projeto, algo bem distinto da modelagem BIM de edificações históricas existentes. Tais fatores mostram a necessidade de pesquisas aprofundadas sobre normatização e classificação dos níveis de detalhamento e informação específicos para a metodologia HBIM.

Para categorizar o nível de informação e precisão de um modelo, a metodologia BIM utiliza os conceitos como: Nível de Desenvolvimento (LOD), Nível de Detalhe (LoD), Nível de Informação (LOI), nível de Precisão (LOA). Existem algumas diretrizes para categorizar e mensurar o nível de detalhe do modelo BIM, como BIMForum, CAN BIMProtocol e PAS 1102-2, a maioria delas destinadas ao projeto e gerenciamento de novas edificações. Cada um desses parâmetros diz respeito à natureza e à quantidade de dados presentes em um elemento construtivo no modelo HBIM, sejam eles dados métricos, gráficos ou não geométricos (Brumana et al., 2019; Graham; Chow; Fai, 2018; Santana; Groetelaars, 2023).

3.6.1 Nível de desenvolvimento (LOD)

O conceito LOD (Level of Development) foi criado pelo BIMForum nos EUA em 2013, como forma de apoiar profissionais de AECO a especificar a complexidade geométrica e os dados associados contidos em modelos BIM em diferentes fases de um projeto – do projeto à construção.

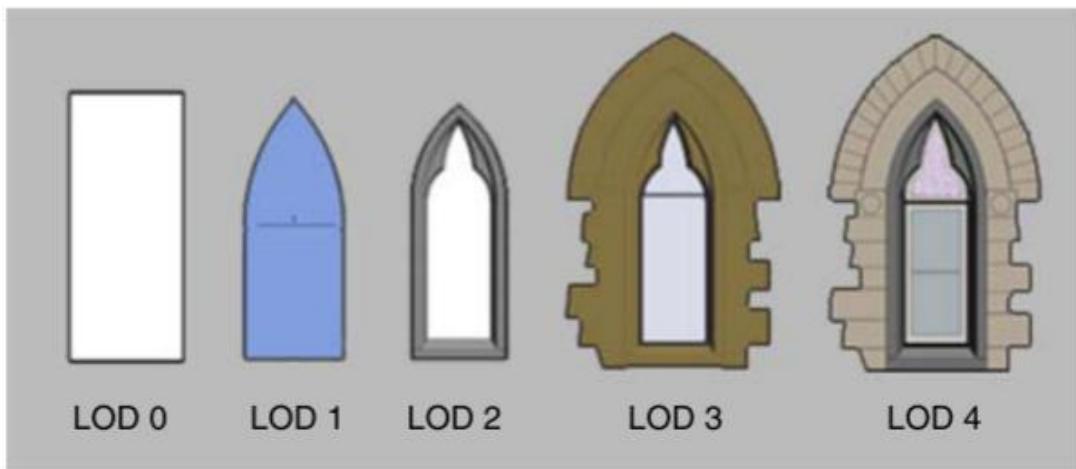
O padrão contém cinco níveis de desenvolvimento (LOD), sendo o LOD 100 a menor quantidade de informações gráficas incorporadas e o LOD 400 a maior. A intenção da especificação do BIMForum, organização que criou o sistema de classificação LOD, é permitir que diferentes níveis de desenvolvimento sejam escolhidos para os diferentes elementos de construção em um modelo, o que significa que um mesmo modelo BIM será composto de elementos com diferentes níveis de

detalhe. Conforme mencionado, a especificação do BIMForum oferece cinco níveis LOD:

- LOD 100: os elementos são representados graficamente no modelo como símbolos bidimensionais ou outras formas de representação genéricas. A forma, o tamanho e a localização exata do elemento não são fornecidos e qualquer informação derivada de um componente do modelo LOD 100 é considerada aproximada;
- LOD 200: os elementos são representados graficamente no modelo como marcadores de posição genéricos com quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações aproximadas. Se informações não gráficas forem incluídas, elas devem ser interpretadas como aproximadas;
- LOD 300: os elementos são representados graficamente com precisão no modelo e contêm quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações mensuráveis. As informações não gráficas anexadas ao modelo são retratadas com precisão;
- LOD 350: os elementos são representados graficamente com precisão no modelo e contêm quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações mensuráveis. Eles também demonstram graficamente as interseções com outros sistemas. As informações não gráficas anexadas ao modelo são retratadas com precisão;
- LOD 400: os elementos são representados graficamente com precisão no modelo e contêm quantidades, tamanhos, formas, localizações e orientações mensuráveis com detalhes adicionais.

O LOD (Figura 17) refere-se ao nível de desenvolvimento de um modelo BIM em termos de detalhes e informações métricas contidas. Já o LoD ou nível de detalhe é uma representação progressiva do modelo, que varia desde uma representação simples, em que apenas as dimensões gerais são fornecidas, até um modelo totalmente detalhado, em que cada componente e suas especificações são apresentados.

Figura 17 — Nível de detalhamento CIMS para uma janela



Fonte: Graham *et al.* (2018).

3.6.2 Nível de informação (LOI)

Brumana *et al.* (2019) criaram um sistema de classificação que tem como objetivo separar as informações gráficas e não gráficas (semânticas) e aplicar o conceito de LoD para edificações já construídas. O nível de informação ou LOI (*level of information*) é um sistema de classificação para medir a quantidade de dados semânticos presentes em um modelo BIM (Brumana *et al.*, 2019).

Graham, Chow e Fai (2018) mostram que o conceito LOI são as informações incorporadas que os elementos BIM contêm. Isso pode incluir informações sobre material, fabricante, dados de origem ou recursos adicionais. Para os autores, as categorias de LOI são:

- LOI 0: as informações não são necessárias. Se presentes, as informações são limitadas à classificação do elemento;
- LOI 1: alguns dados não gráficos são incluídos, mas podem ser configurações padrão e não derivados especificamente para o projeto;
- LOI 2: mais dados não gráficos são especificados e são em parte específicos do projeto. A materialidade geral é rotulada, mas pode não incluir detalhes completos da montagem da parede. O tipo é especificado, mas não as informações específicas do fabricante;
- LOI 3: as informações não gráficas (dados semânticos) incluem requisitos específicos, como potência para luzes. Todas as camadas de material são rotuladas

e classificadas com valores térmicos, acústicos e estruturais. O tipo de material é necessário, mas a marca é omitida;

- LOI 4: dados detalhados de um elemento como o fabricante e modelo específicos estão incluídos e *links* para o manual do fabricante estão presentes, assim como todas as especificações incluídas pelo fabricante.

Para Graham, Chow e Fai (2018), o nível de informação do modelo (LOI) é frequentemente determinado pelos dados disponíveis. Diferente de uma nova construção – em que o material e forma construtiva de uma parede são conhecidos – um modelo BIM de um edifício existente ou histórico só é possível por meio de desenhos existentes, documentos de especificação e observações no local para determinar a estrutura, o material etc. Em alguns casos de documentação HBIM, apenas a documentação e a observação no local estão disponíveis.

O tipo de informação incorporada não se limita a categorias tradicionais, como materialidade ou o tamanho dos membros estruturais, mas pode conter comentários do autor do componente sobre restrições, recursos ou se é necessária uma verificação adicional. Frequentemente, as informações incorporadas de um BIM do CIMS conterão um *link* para fontes de dados adicionais.

Segundo Santana e Groetelaars (2023), o LOI, nível de informação, é um parâmetro para medir a quantidade de informações semânticas (como dados etnográficos, propriedade dos materiais e imagens associadas) enquanto o LoD, nível de detalhe, diz respeito ao detalhamento geométrico do modelo, o LOI é um conceito que enfatiza a qualidade e a quantidade de informações contidas no modelo. Isso pode incluir informações sobre material, fabricante, dados de origem ou recursos adicionais.

3.6.3 Nível de acurácia (LOA)

O *level of accuracy* (LOA) ou nível de acurácia trata da precisão dos dados métricos no modelo. É uma medida da confiabilidade na precisão dos dados. Brumana *et al.* (2013) também ressaltam que a precisão das informações é crucial para a validação e a verificação dos modelos, especialmente em projetos complexos. A confiabilidade dos dados no LOA é fundamental para uma maior precisão dos modelos e dados a serem usados.

Nível de acurácia (LOA) é uma categoria que o CIMS desenvolveu como forma de registrar e categorizar os desvios encontrados em modelagens, de maneira diferente da categorização de nível de desenvolvimento (LOD). Para o CIMS, o LOA reflete o nível em que a deflexão e o desvio do elemento de construção são modelados no BIM. De acordo com o CIMS, os níveis de acurácia (LOA) são os seguintes:

- LOA 0: nenhuma deflexão/desvio é modelada. Uma dimensão média é usada para posição e espessura do material;
- LOA 1: a deflexão/desvio do elemento é modelada em cantos e mudanças de materiais. A deflexão/desvio mostrada está no posicionamento, e não na espessura do material;
- LOA 2: a deflexão/desvio do elemento é modelada em um espaçamento de grade predeterminado (tipicamente entre 1.000 mm e 3.000 mm) e em cantos ou mudanças de material. A deflexão/desvio é mostrada no posicionamento, não na espessura do material;
- LOA 3: a deflexão/desvio do elemento é modelada em um espaçamento de grade predeterminado (tipicamente entre 300 mm e 1.000 mm) e em cantos ou mudanças de material. Grandes deflexões/desvios (tipicamente de 50 mm a 1.000 mm) entre o espaçamento da grade são adicionados. A deflexão/desvio é mostrada no posicionamento e na espessura do material se a espessura mostrar uma deflexão/desvio maior que 25 mm;
- LOA 4: o maior LOA é obtido por meio da criação de uma malha gerada a partir de dados de nuvem de pontos e contém toda a deflexão e deformação.

A separação do LOA e do LOD permite que o modelo reflita adequadamente diferentes fontes de informação.

3.6.4 Nível de desenvolvimento, informação e acurácia (LODIA)

Devido à complexidade dos dados que um modelo HBIM pode conter, é recomendado que o nível de detalhe geométrico seja tratado separadamente dos dados semânticos (não geométricos), devido às especificidades do modelo HBIM. Para tanto, o Carleton Immersive Media Studio (CIMS) criou, em 2015, um entendimento da classificação do nível de desenvolvimento (LOD), informação e

acurácia da modelagem de edifícios históricos existentes (Graham; Chow; Fai, 2018; Santana; Groetelaars, 2023).

Para a categorização do nível de detalhe, esta pesquisa aplica o conceito LODIA, uma diretriz criada pelo laboratório CIMS para identificar LOD, LOI e LOA de modelos BIM existentes e patrimoniais. Nos dois estudos, o nível de desenvolvimento (LOD) aplicado na modelagem não considerou as imperfeições dos elementos de construção indígenas como as informações volumétricas precisas dos nós e conexões. Devido às limitações da precisão geométrica da modelagem de alguns elementos por fontes secundárias, as conexões foram modeladas com um baixo nível de desenvolvimento (LOD), mas com um alto nível de informação (LOI) (Graham; Chow; Fai, 2018).

De acordo com a classificação CIMS, o LODIA do modelo HBIM presentes no segundo estudo de caso dessa pesquisa é descrito a seguir:

Tabela 1 — Tipos de elementos e seus níveis de detalhe, informação e acurácia (LODIA)

| Categoria BIM | LOD | LOI | LOA |
|--|-----|-----|-----|
| Geometria exterior | 2 | 3 | 1 |
| Elementos estruturais verificados | 3 | 3 | 4 |
| Elementos estruturais não verificados (nós e conexões) | 1 | 3 | 1 |

Fonte: Autor.

O conceito de LODIA introduzido pelo laboratório CIMS expande a ideia de LOD ao considerar não apenas o nível de desenvolvimento do modelo, mas também a aplicação prática das informações contidas nele. O conceito LODIA ajuda a identificar como as informações serão utilizadas em diferentes etapas do ciclo de vida do projeto, garantindo que os dados sejam aplicáveis e relevantes. Essa abordagem permite uma integração mais eficaz entre a informação técnica e a gestão prática do projeto (Graham; Chow; Fai, 2018; Santana; Groetelaars, 2023).

Em resumo, os conceitos LOD, LOI, LOA e LODIA oferecem maneiras específicas de classificar e avaliar a qualidade e a utilidade das informações presentes em um modelo BIM. Porém, para Santana e Groetelaars (2023), os sistemas de classificação LOD, LOI, LOA, mesmo muito utilizados, não são eficientes, a depender da complexidade e particularidades de cada objeto a ser modelado.

Pela diferença de complexidade dos elementos construtivos, os autores propõem uma relação de prioridade na construção paramétrica dos elementos, criando o conceito *level of complexity*, nível de complexidade. Este conceito tem relação com a complexidade dos elementos modelados e, a partir deste, pode-se atribuir uma classificação de nível de desenvolvimento para especificação do detalhamento geométrico dos elementos modelados adequados àquele modelo.

Os conceitos de níveis de desenvolvimento, informação e acurácia são aplicados de maneira individual para cada entidade. Ou seja, um mesmo modelo BIM contém diferentes níveis de detalhe, acurácia e informação e esses níveis diferem de elemento para elemento dentro de um mesmo modelo.

3.7 DO SCAN AO BIM

O fluxo *scan to BIM* (de escaneamento para modelagem da informação da construção) é um processo essencial na conversão de dados de nuvem de pontos gerados por escaneamento 3D em modelos BIM. Esse processo começa com a coleta de dados, em que um escâner a *laser* ou uma câmera fotográfica é utilizado para capturar o espaço desejado. A nuvem de pontos resultante serve como a base para o desenvolvimento do modelo BIM.

Após a coleta, os dados são importados para o Agisoft Metashape Professional. Nesse software, o primeiro passo é a calibração da câmera, a definição dos pontos de controle e alinhamento das fotos, geração da nuvem esparsa de pontos que permite gerar uma nuvem de pontos densa. O alinhamento adequado das imagens é crucial para garantir a precisão dos dados. Após o alinhamento, o Metashape possibilita a geração de uma nuvem de pontos densa, além da criação de uma malha 3D TIN (*triangular irregular network*) e sua texturização, com a representação fiel dos relevos e cores das superfícies, se necessário. A nuvem de pontos deve ser exportada em um formato compatível, como .xyz, .pts ou .las, para que possa ser utilizada em outras aplicações.

Em seguida, o modelo de nuvem de pontos é importado para o Autodesk Revit 2024®. Para isso, é necessário abrir um novo projeto ou utilizar um existente e, na aba “Inserir”, selecionar a opção “Nuvem de Pontos”. Essa etapa é fundamental, pois a nuvem de pontos servirá como referência para a modelagem no Revit. Após a

importação, é importante ajustar as opções de visibilidade para facilitar a visualização da nuvem.

Com a nuvem de pontos carregada, o próximo passo é a modelagem em Revit. O processo de modelagem faz uso da nuvem de pontos como guia para criar o espaço, incluindo elementos como paredes, janelas e portas. É essencial verificar continuamente o modelo em relação à nuvem de pontos, garantindo que a modelagem esteja precisa e o mais próximo possível da realidade. A comparação constante entre o modelo e a nuvem de pontos é crucial para a precisão do projeto (Cogima et al., 2020; Ursini et al., 2022).

Após a modelagem, o Revit oferece ferramentas de análise que permitem verificar a integridade estrutural e possíveis conflitos no modelo (*clash detection*). Essa análise é uma etapa importante, pois ajuda a garantir que todas as informações necessárias estejam integradas de forma eficaz. Além disso, a documentação do modelo pode ser facilmente gerada a partir do Revit, permitindo a criação de plantas, cortes e elevações.

Por fim, a colaboração e o compartilhamento do modelo são facilitados pelo uso dos chamados ambientes comuns de dados, como o BIM 360, que permitem a interação entre a equipe e os *stakeholders*. Isso é vital em projetos complexos, em que múltiplos profissionais precisam trabalhar em conjunto. O fluxo *scan to BIM* não só transforma dados do mundo real em um modelo digital detalhado mas também proporciona uma gestão mais eficiente de projetos de conservação e restauração.

3.7.1 Workflow Scan to BIM com aerofotogrametria por drone

O processo de *scan to BIM* (digitalização para BIM) tem se tornado cada vez mais comum na indústria da construção, especialmente com a popularização de técnicas como a aerofotogrametria realizada por *drones*. Este método permite a captura de dados tridimensionais precisos e detalhados de edificações existentes, que podem ser convertidos em modelos digitais para planejamento, análise e visualização. Este fluxo de trabalho envolve várias etapas e softwares, incluindo Metashape, Recap Pro e Revit.

- a) Captura de dados com *drone*

O primeiro passo do *workflow* é a captura de imagens aéreas usando *drones* equipados com câmeras de alta resolução. A aerofotogrametria é utilizada para coletar imagens de forma sistemática, cobrindo toda a área de interesse. Para garantir a qualidade dos dados, é fundamental planejar o voo, estabelecendo pontos de sobreposição entre as imagens (normalmente, entre 60% e 80%) e definindo a altitude adequada para assegurar uma maior resolução das imagens. Um planejamento cuidadoso dos voos é essencial para garantir a qualidade e a precisão suficientes das imagens capturadas.

b) Processamento das imagens no Agisoft Metashape

Após a captura, as imagens são importadas para o *software* Agisoft Metashape. Este *software* é responsável pela reconstrução tridimensional da cena por meio do processo de fotogrametria. O Metashape utiliza algoritmos para identificar e emparelhar pontos homólogos nas diferentes imagens, gerando uma nuvem de pontos que representa a superfície do objeto ou área mapeada. A qualidade da nuvem de pontos gerada depende diretamente da qualidade das imagens e da técnica de captura.

O Agisoft Metashape permite que os usuários ajustem a qualidade da nuvem de pontos e adicionem informações geográficas, como coordenadas UTM, caso necessário. Essa nuvem de pontos pode ser exportada e convertida em formatos reconhecidos por *softwares* de modelagem BIM, para ser usada como base para a criação de um modelo 3D mais detalhado. No caso do *software* Revit, essa importação não se dá de maneira direta.

c) Exportação da nuvem de pontos

Uma vez que a nuvem de pontos foi gerada e refinada, ela pode ser exportada em formatos como .las ou .ply compatíveis com diferentes *softwares*. Esta nuvem de pontos é essencial para a etapa seguinte, na qual a nuvem será integrada ao *software* de modelagem.

d) Importação para o Recap Pro

O próximo passo é importar a nuvem de pontos para o Autodesk Recap Pro. Este *software* permite que os usuários visualizem, editem e gerenciem nuvens de pontos de forma eficiente. No Recap Pro, é possível realizar ajustes adicionais, como recorte de áreas não desejadas, filtragem de ruídos e aplicação de texturas.

O Recap Pro oferece ferramentas robustas para otimizar a qualidade da nuvem de pontos, permitindo uma visualização clara e precisa dos dados. O *software* também facilita a conversão da nuvem de pontos em um modelo 3D utilizável no *software* Revit, o que é crucial para a modelagem BIM subsequente em se tratando de soluções Autodesk. Outros *softwares* já realizam as leituras dos formatos de nuvem de pontos de maneira direta como é o caso do Archicad, que reconhece a nuvem nos formatos de saída principais .xyz e .e57, e do Vectorworks, que também permite a leitura direta dos formatos .laz, .las, .pts, .e57, .xyz e .ply.

e) Modelagem no Revit

Com a nuvem de pontos pronta, o último passo do *workflow* é importar esses dados para o Autodesk Revit. O Revit é um *software* amplamente utilizado para modelagem de informações de construção (BIM) e permite a criação de modelos 3D detalhados baseados nas informações da nuvem de pontos.

Dentro do Revit, a nuvem de pontos é utilizada como uma referência para a modelagem de elementos arquitetônicos, estruturais e mecânicos, elétricos e hidráulicos (MEP). Os usuários podem criar paredes, janelas, portas e outros componentes diretamente sobre a nuvem de pontos, garantindo que o modelo digital seja uma representação precisa do ambiente real. A integração da nuvem de pontos com o Revit é fundamental para a criação de modelos BIM precisos e confiáveis.

O *workflow scan to BIM* utilizando aerofotogrametria por *drone*, Metashape, Recap Pro e Revit é uma abordagem eficaz para a captura e modelagem de dados de ambientes existentes. Essa metodologia não apenas otimiza o processo de digitalização mas também pode ajudar na criação de modelos BIM de alta qualidade. A figura abaixo representa o fluxo de trabalho do escaneamento à modelagem 3D de acordo com o protocolo CIMS (Figura 18).

Figura 18 — CIMS workflow Point Cloud para o BIM



Fonte: Reproduzido de CIMS (2024).

3.7.2 Tratamento de imagens para fotogrametria

O tratamento de imagens para fotogrametria é uma etapa essencial que impacta diretamente a qualidade e a precisão dos modelos gerados. Para garantir resultados otimizados, é importante seguir algumas recomendações durante a captura e o processamento das imagens.

A captura das imagens deve ser realizada com uma câmera de alta resolução, utilizando configurações manuais. É fundamental ajustar parâmetros como ISO, abertura e velocidade do obturador para se adequar às condições de iluminação do ambiente. Para evitar tremores, recomenda-se o uso de um tripé ou estabilizador, assegurando que as imagens permaneçam nítidas. Além disso, a sobreposição das imagens deve ser de pelo menos 60-80%, pois isso é crucial para o alinhamento eficaz durante o processamento. (Historic England, 2017; Leal, 2022; Reina Ortiz et al., 2021).

Se a aquisição de imagens for feita com *drones*, é importante planejar a rota e a altura do voo de modo a cobrir toda a área de interesse com a sobreposição adequada. A inclusão de pontos de controle no solo, quando possível, pode melhorar significativamente a georreferência e a precisão do modelo e possibilita a junção de

diferentes nuvens de pontos em uma só por meio do reconhecimento desses pontos pelo *software* de processamento de imagens.

Durante a etapa de aquisição das imagens é importante o uso de ferramentas para balanço de cores em fotografia como o X-Rite ColorChecker passport para auxiliar na tarefa de balanço das cores e regulagem de luz e sombra das imagens, quanto mais uniforme estiverem as fotos maior será a eficiência no processo de alinhamento inicial das imagens no *software* de processamento. Esse dispositivo permite que os usuários ajustem as cores das imagens, garantindo que a iluminação seja uniforme e que haja consistência nas texturas do modelo final. O uso do ColorChecker ajuda a evitar variações indesejadas, especialmente em ambientes com iluminação desafiadora (Reina Ortiz et al., 2021).

Além disso, o Adobe Bridge pode ser uma ferramenta valiosa nesse fluxo de trabalho. Com ele, é possível organizar e classificar as imagens capturadas, facilitando a visualização e a seleção das melhores fotos para o processamento. O Bridge permite também a aplicação de ajustes em lote, como a correção de cor e a remoção de ruídos, preparando as imagens para serem importadas para o *software* de fotogrametria.

Após o processamento inicial, é importante realizar uma verificação da qualidade do modelo gerado. Isso inclui a análise da precisão e da resolução das texturas. Se necessário, ajustes na captura, como a adição de mais imagens ou diferentes ângulos, podem ser feitos e a etapa de reprocessamento deve ser realizada para melhorar os resultados.

Por fim, manter um registro detalhado do processo de captura e tratamento das imagens é fundamental. Isso inclui documentar as configurações da câmera e as condições do ambiente, o que não só auxilia na repetibilidade do processo, mas também serve como referência para futuras sessões de captura. Seguindo essas recomendações, é possível otimizar a qualidade dos dados obtidos com a fotogrametria, resultando em modelos mais precisos e confiáveis.

3.8 HBIM E A INTEROPERABILIDADE

O princípio da interoperabilidade pode ser entendido como a capacidade de diferentes sistemas em se comunicar por meio da troca, utilização e edição de

informações. No contexto do BIM, a interoperabilidade é proposta por meio de um padrão de intercâmbio de dados desenvolvido pela BuildingSmart, uma entidade norte-americana de organizações da indústria AECO.

A interoperabilidade é crítica para o sucesso do BIM. O desenvolvimento de padrões de dados abertos e o acesso “não-proprietário” para os dados do BIM é uma prioridade urgente para a indústria se quisermos evitar as ineficiências e os problemas recorrentes de reentrada de dados. A interoperabilidade permitirá o reuso de dados de projeto já desenvolvidos e assim garantindo consistência entre cada um dos modelos para as diferentes representações do mesmo edifício. Dados consistentes, acurados e acessíveis por toda a equipe de projeto irão contribuir significativamente para mitigar os atrasos e os custos adicionais (Howell e Batcheler, 2004, p. 8).

Segundo Deritti e Freira (2019), em seu artigo “Interoperabilidade entre aplicativos BIM usando modelos IFC”, o fato de existirem muitos softwares para várias disciplinas e propósitos diferentes no campo da AECO fez necessário o desenvolvimento de um formato universal, que possa conter todas as informações (geométricas e não geométricas) e ser lido e reconhecido nos mais diversos softwares BIM.

Um dos principais usos associados ao modelo BIM, ainda em fase de projeto, é o uso do modelo para simulações e análises das diversas engenharias envolvidas no projeto, a fim de aprimorar os processos de construção, uso e manutenção de edificações existentes. Tais simulações e análises podem ser de grande valia também no processo de documentação e conservação de edifícios e técnicas construtivas de valor histórico.

A modelagem paramétrica pode ser acrescida de informações advindas de diversos aplicativos de análise e simulação das mais diversas engenharias presentes em um edifício histórico. No BIM, a produção de modelos virtuais pode gerar automaticamente não apenas desenhos técnicos e cronogramas, mas também prevê aspectos estruturais, econômicos, energéticos e dados analíticos de gerenciamento de projetos.

3.9 HBIM E A ANÁLISE ESTRUTURAL

Para Dore *et al.* (2014), existem dois grandes problemas encontrados por pesquisadores de HBIM. O primeiro diz respeito à escassez de elementos complexos da arquitetura histórica nas bibliotecas de famílias BIM e o segundo, à falta de um

sistema de mapeamento de objetos através de dados colhidos por sensoriamento remoto.

No artigo intitulado “Structural Simulation and Conservation Analysis – Historic Building Information Modeling (HBIM)”, Dore *et al.* (2014) mostram o uso do HBIM no âmbito do Património Cultural Virtual, primeiramente com o desenvolvimento de objetos paramétricos CAD, que foram produzidos a partir da varredura a *laser* ou em levantamentos fotogramétricos.

A pesquisa feita no Dublin Institute of Technology (DIT) tornou-se bastante difundida e mostra que os estudos mais recentes na época apontavam no sentido da automação para aprimorar o lento processo de converter dados desestruturados de nuvem de pontos em componentes BIM estruturados semanticamente. O resultado principal da pesquisa foi a criação de modelos computacionais inteligentes para serem usados nas análises de conservação e nas soluções para estruturas históricas e seu entorno.

Dore *et al.* (2014) usam como estudo de caso a Four Court, um edifício histórico do séc. XVIII na Irlanda que foi parcialmente destruído em 1922 com a Guerra Civil Irlandesa. O estudo mostrou os efeitos dos danos à estabilidade estrutural do edifício e de que forma a tecnologia HBIM pode colaborar com a recuperação dos edifícios históricos.

A metodologia aplicada na pesquisa de Dore *et al.* (2014) utilizou dois bancos de dados diferentes. O primeiro foi o banco de arquivos históricos guardados desde 1780 até a data da pesquisa e que foi usado como fonte de parâmetros e regras de modelagem do projeto. A segunda fonte de dados foi um escaneamento a *laser* interno e externo da edificação com a geração de nuvem de pontos. (Figura 19). Ambas as fontes foram usadas na geração do modelo HBIM de análise estrutural.

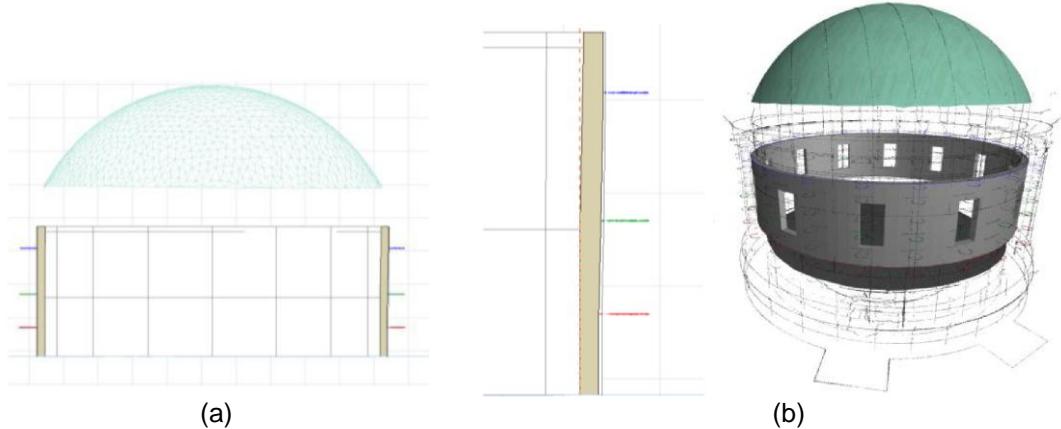
Figura 19 — Edifício Four Court: (a) Corte do século XVIII, (b) Imagem por nuvem de pontos



Fonte: Reproduzido de Dore et al. (2014).

A análise do comportamento e da deformação estrutural foram mostrados por Dore et al. (2014) como mais uma possibilidade de aplicação de modelos HBIM no auxílio à documentação e preservação de arquitetura histórica, a partir da comparação dos dados levantados por meio do escaneamento a laser com as regras de projeto estipuladas a partir da pesquisa. Foram usados, como auxílio à criação dos modelos, parâmetros de modelagem e regras baseados nos princípios da arquitetura clássica, como mostra a figura a seguir (Figura 20).

Figura 20 — HBIM Four Court: (a) Corte contendo as reais deformações (b) Modelo HBIM analítico



Fonte: Dore, et al. (2014).

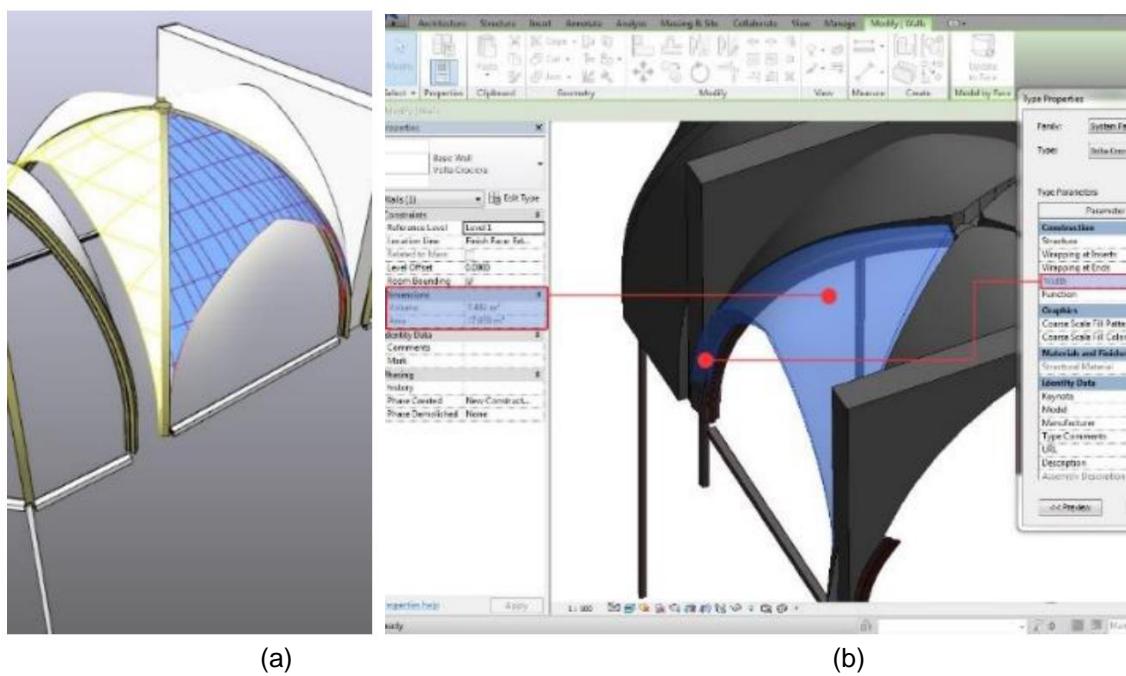
Piselli et al. (2020) mostram, em um estudo inovador, a utilização da tecnologia HBIM na simulação integrada para restauração (*retrofit* energético) de sistemas de ar-condicionado renovável em edificações históricas na Itália. Nesse estudo, o desempenho da energia de aquecimento do edifício, tipicamente influenciado pela

inércia térmica em edifícios históricos, é avaliado comparativamente entre um cenário tradicional e um sistema inovador de energia renovável (Piselli et al., 2020).

O estudo mostra que o novo sistema pode trazer muitos benefícios com menor impacto visual para a arquitetura do edifício. A pesquisa concluiu que a abordagem integrada das metodologias BIM entre as disciplinas intervenientes no projeto pode de fato contribuir para a recuperação e conservação do patrimônio arquitetônico na Europa.

Como já abordado, um dos princípios básicos da tecnologia BIM é a interoperabilidade entre diferentes programas computacionais. Dessa forma, é possível exportar os modelos HBIM para diferentes softwares que podem propiciar vários tipos de análise, como foi mostrado também por Oreni et al. (2014), que testou a interoperabilidade do HBIM com softwares de modelagem geométrica como o Rhino para análise do desempenho da forma e softwares de cálculo estrutural como o Midas para análise de elementos finitos. Essa pesquisa se deu no âmbito da restauração após o terremoto que atingiu a Basílica de Collemagio na Itália em 2014 (Figura 21).

Figura 21 — HBIM Basílica de Collemagio: (a) modelo de elementos finitos no Midas (b) Modelo HBIM no Revit



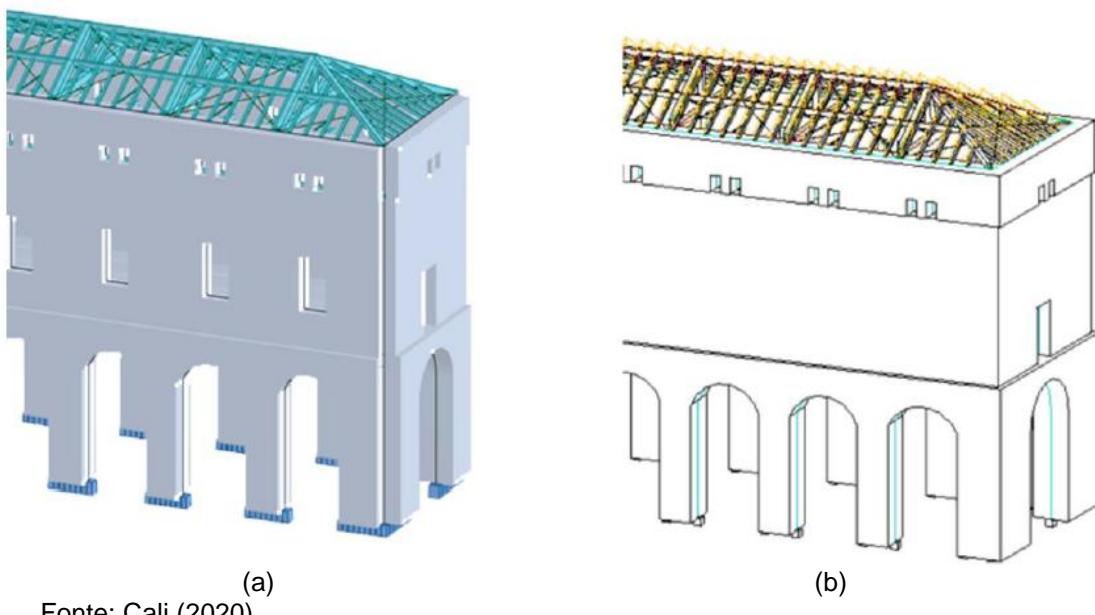
Fonte: Reproduzido de Oreni et. al. (2014).

No Brasil, Cali (2020) desenvolve uma metodologia para avaliação estrutural de edifícios em alvenaria de valor patrimonial histórico. Por meio de uma análise linear e criação de modelo em software de métodos de elementos finitos (MEF), demonstrou

a eficácia da interoperabilidade no HBIM, o que resultou em um processo de atualização contínua dos modelos HBIM e MEF (Figura 22).

A pesquisa usou os softwares da Autodesk e mostrou que o procedimento de troca de informações entre os softwares Robot® e Revit® não é direta e requer cuidados especiais. O modelo MEF pode ser importado diretamente do Robot® para o Revit®, porém pode ocorrer perda de informações (Figura 22).

Figura 22 — Perda de informação no MEF para BIM: (a) modelo MEF. (b) Modelo HBIM



Fonte: Cali (2020)

Segundo Cali (2020), a perda de informação pode ser resolvida com algumas configurações no momento da exportação, a partir do modelo HBIM, do qual o modelo de elementos finitos foi exportado. Tal procedimento permite que o modelo HBIM adquira informações sobre geometrias, propriedades do material, cargas, tipo de conexões e resultados da análise de elementos finitos.

Os elementos não estruturais foram modelados como cargas atuando na estrutura, por meio de sua contribuição de massa, uma vez que os elementos não estruturais são automaticamente desprezados na integração BIM-MEF.

Dessa forma, foi criada uma metodologia para identificação e análise estrutural de edifícios históricos em alvenaria, que otimiza a gestão de informações ao se utilizar o HBIM, favorecendo a colaboração multidisciplinar necessária para o projeto e as ações de intervenção em patrimônio (Cali, 2020).

3.10 HBIM E A PRESERVAÇÃO DO PATRIMÔNIO MODERNO

As ferramentas e metodologias HBIM aplicadas à conservação do patrimônio arquitetônico moderno brasileiro já são uma realidade no cenário da AECO e podem-se destacar alguns importantes estudos que colaboram com essa área.

Costa et al. (2021) mostram a aplicação dos princípios da tecnologia HBIM na documentação e conservação do edifício histórico modernista E1 localizado no campus da Universidade de São Paulo em São Carlos (USP São Carlos). A metodologia do estudo se desenvolve a partir da revisão bibliográfica, dos levantamentos no local, modelagem paramétrica e avaliação das formas de desenvolvimento dos componentes, com uso de software BIM.

A principal contribuição do estudo é a descrição e a discussão dos procedimentos adotados, as potencialidades e limitações de cada processo e sua aplicação para estudos similares. Os modelos gerados foram disponibilizados em um repositório público, a fim de possibilitar o registro, documentação e o uso em projetos de gestão, manutenção, preservação e reconstrução do patrimônio estudado, e como um modelo exemplificado para bibliotecas HBIM a serem futuramente construídas.

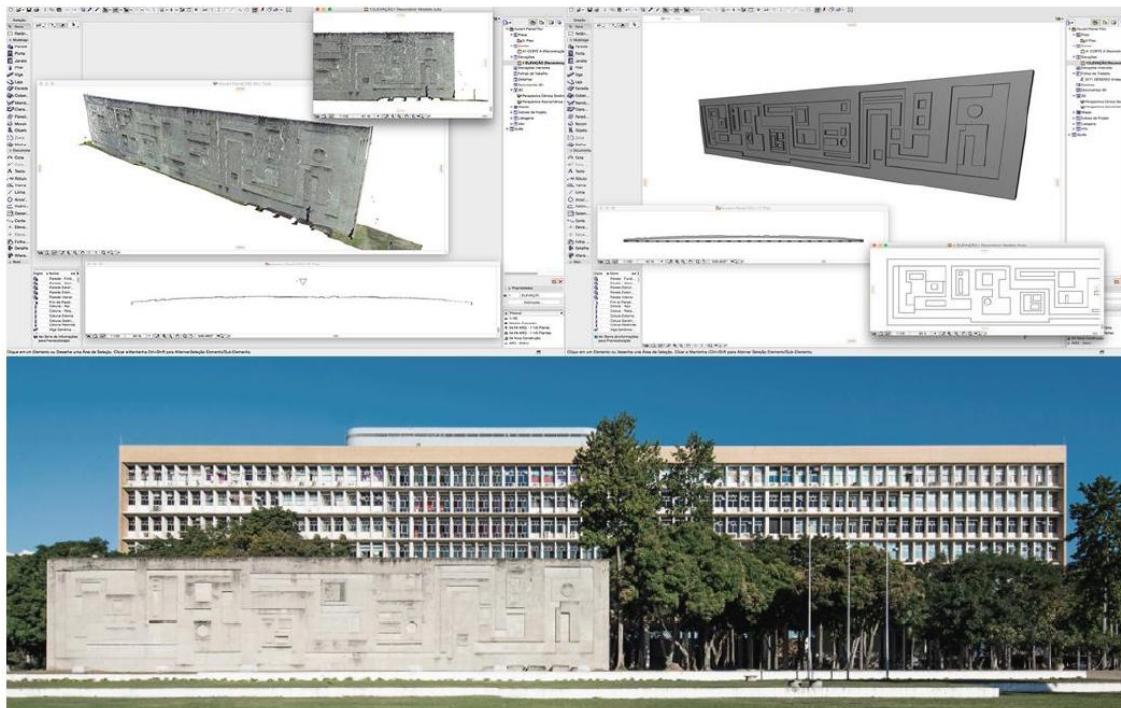
Canuto e Salgado (2016) destacam as vantagens do uso da metodologia BIM para a documentação e a gestão ao longo de todo o ciclo de vida de uma edificação histórica. Esse artigo explora a metodologia BIM no patrimônio histórico arquitetônico, com o foco na preservação e conscientização do valor do patrimônio modernista por meio da geração de um modelo tridimensional semântico com cronograma navegável que narra as principais mudanças tangíveis e intangíveis do edifício, o que possibilita a geração de informações qualitativas, quantitativas e paramétricas.

Canuto e Salgado (2016) apresentam o processo de modelagem do Palácio Gustavo Capanema, projetado no fim da década de 1930 pela equipe de Lúcio Costa, formada por Oscar Niemeyer, Affonso Eduardo Reidy, Ernani Vasconcelos, Carlos Leão e Jorge Machado Moreira. Foram modelados o projeto arquitetônico definitivo *as-designed* em 1937 e o projeto *as-built* em 1945, destacando a documentação e análises históricas geradas pelo modelo. A modelagem foi feita a partir de fontes primárias, levantamento cadastral em CAD e visita ao local.

Os autores mostram, ainda, no artigo, um exemplo que abrange os conceitos de HBIM e as possibilidades em se tratando de documentação e registro de obras de

arte presentes na arquitetura moderna brasileira, a partir da geração de um modelo (Figura 23) do painel da fachada do edifício modernista de 1957 da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), utilizando o software BIM Archicad.

Figura 23 — HBIM Painel artístico UFRJ: Imagem por nuvem de pontos e Modelo HBIM analítico



Fonte: Reproduzido de Canuto e Salgado (2016).

O levantamento utilizado para a modelagem do painel foi feito por meio de escaneamento a *laser*. A partir dos cortes longitudinais feitos no modelo importado para o Archicad, obteve-se as dimensões dos elementos ornamentais que fazem parte da parede curva da edificação. Dessa forma, foi possível verificar o alinhamento dos elementos e realizar a modelagem precisa do painel (LOD300). As informações estruturais, materiais e detalhes que vão além da superfície levantada pela nuvem de pontos foram posteriormente acrescentadas através levantamento 2D existente em CAD. Esse estudo demonstra a utilização das tecnologias digitais de levantamento cadastral e da tecnologia HBIM para a documentação de obras de arte inseridas na arquitetura.

Cuperschmid et al. (2019) demonstram a aplicação da metodologia HBIM na documentação e preservação do edifício modernista Casa de Vidro da arquiteta Lina Bo Bardi. O modelo HBIM foi desenvolvido incluindo informações históricas da

edificação e dados geométricos adquiridos a partir de medição física direta, escaneamento a laser, dados fotográficos e relatórios sobre patologias.

Profissionais de diferentes áreas do conhecimento estiveram envolvidos no estudo. A equipe de Estruturas, Materiais e Patologias forneceu dados de simulação do modelo estrutural, que foram inseridos como modelo federado da Casa de Vidro (Figura 24).

Figura 24 — Corte longitudinal do modelo HBIM da Casa de Vidro, sobreposto com a imagem de nuvem de pontos. Em preto: vista wireframe do modelo BIM, em cores: nuvem de pontos



Fonte: Reproduzido de Cuperschmid et al. (2019).

A análise de desempenho estrutural foi desenvolvida por um consultor especializado, utilizando a ferramenta TQS, um software de cálculo estrutural brasileiro. Para as simulações de desempenho estrutural, foram realizados ensaios para análise da resistência da laje de concreto e para medição qualitativa e quantitativa das armaduras internas dos pilares. Essas análises incluíram ensaios e cálculos. Para a verificação e busca por interferência entre os projetos foi usado o software Autodesk Navisworks. Os sistemas elétrico e hidráulico não foram modelados.

Os dados patológicos observados pela equipe multidisciplinar foram inicialmente registrados em desenhos de Autocad 2D e fotografias e subsequentemente documentados em forma de mapas de danos inseridos em vistas específicas do modelo HBIM para gerar uma documentação integrada com as outras informações modeladas (gráficas e semânticas). Foram adotados elementos paramétricos hachurados e modelados de acordo com cada tipo específico de patologia.

Segundo Cuperschmid et al. (2019), a utilização do HBIM para fins de documentação do patrimônio arquitetônico modernista brasileiro é ainda muito restrita. Os autores apresentam os procedimentos adotados para desenvolver um HBIM da Casa de Vidro, priorizando a documentação do estado de conservação atual do edifício e dando suporte ao planejamento de ações de preservação, manutenção e divulgação.

A comparação do modelo BIM com a nuvem de pontos gerada pelo escaneamento 3D possibilitou ajustar o modelo para obter uma melhor consistência geométrica. Um dos maiores benefícios da utilização do levantamento cadastral por nuvem de pontos, gerada por meio do escaneamento a *laser*, foi sua alta precisão, o que resultou na criação de um modelo com geometria precisa.

Apesar disso, o modelo apresenta precisão variável em relação ao detalhamento técnico-construtivo. Para os elementos cujos materiais foram bem documentados ou foram levantados durante as inspeções dos especialistas, foram criados parâmetros para refletir esses detalhes. Alguns itens foram detalhados em conformidade com a sua importância para a construção e a disponibilidade de informações.

No modelo HBIM da Casa de Vidro foram representados elementos e componentes construtivos com a maior precisão possível. No entanto, a pesquisa apontou alguns desafios enfrentados durante a elaboração do modelo, tendo em vista as particularidades de cada elemento construtivo e seus diferentes estados de conservação, fato que resultou em uma modelagem com o nível de desenvolvimento (LOD) dos elementos não homogêneo.

O modelo HBIM desenvolvido para a Casa de Vidro permite que os profissionais da arquitetura, conservação e restauro tenham acesso fácil e rápido a informações integradas sobre os projetos e as condições atuais das edificações, com boa precisão para os elementos mais importantes, contribuindo para o planejamento de ações de manutenção e restauro.

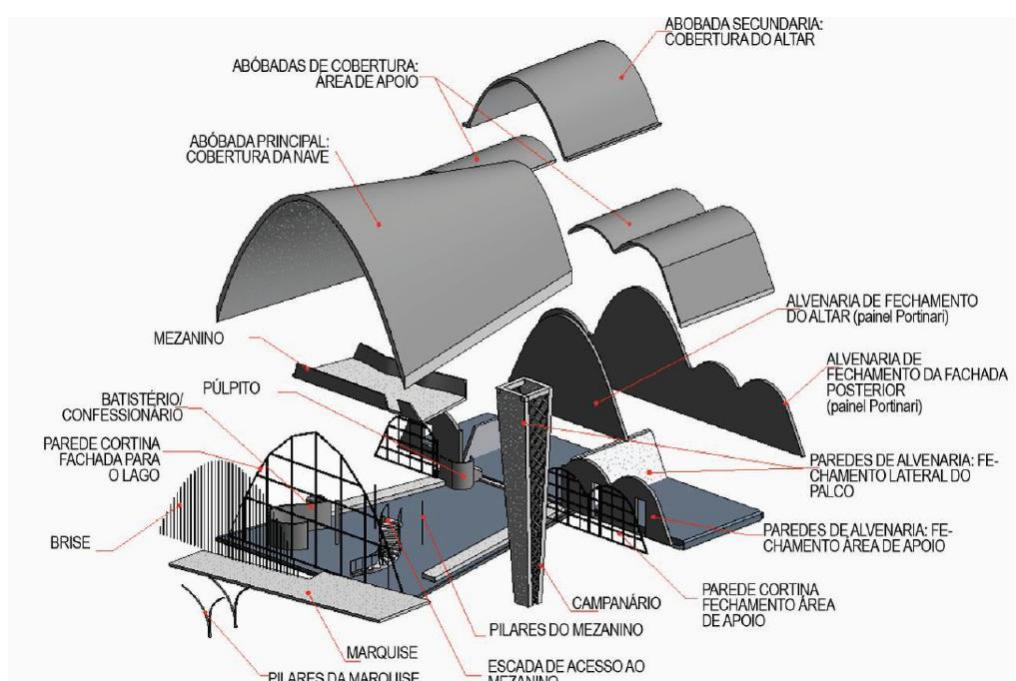
O estudo concluiu que o software Autodesk Revit se mostrou adequado para a documentação da arquitetura modernista, pois contém características que suportam a reconstrução virtual da maioria dos elementos. No entanto, por se tratar de uma ferramenta originalmente desenvolvida para projetos de edifícios novos, enfrenta desafios ao registrar imperfeições e deformações. Cuperschmid et al. (2019)

concluíram que ainda é necessária uma maior investigação acerca do potencial uso para registro de outros edifícios modernistas de interesse histórico.

Já Cogima *et al.* (2020), em seu artigo intitulado “Scan-to-HBIM aplicado a igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer”, demonstra a aplicação do HBIM para a conservação do patrimônio moderno aplicado à igreja de São Francisco de Assis na lagoa da Pampulha em Belo Horizonte, Minas Gerais (Figura 13).

O artigo foca na criação de um modelo digital inteligente para uma obra a partir da utilização de duas técnicas de varredura digital. O modelo de nuvem de pontos foi obtido por dois sistemas de varredura (fotogrametria aérea e escaneamento a laser) o que resultou na descrição detalhada da complexidade e irregularidade geométrica do edifício, usada como base do modelo paramétrico preciso criado com ferramentas BIM. A Figura a seguir ilustra em detalhes os componentes em perspectiva explodida criada no Revit através do comando “deslocar elementos” (aba Modificar).

Figura 25 — HBIM Igreja da Pampulha: Classificação ontológica no modelo explodido



Fonte: Reproduzido de Cogima *et al.* (2020, p. 130).

Cada elemento presente no modelo (arquitetônico, estrutural etc.) foi nomeado de acordo com a classificação OmniClass, baseada na norma NBR ISO 12006-2:2018 (ABNT, 2018), por ser o formato nativo do Revit. O OmniClass Construction Classification System (OmniClass) é um sistema de classificação desenvolvido para organizar e categorizar todas as informações relacionadas ao ambiente construído, sendo amplamente utilizado em processos baseados em BIM (*building information*

modeling). Foi criado com o objetivo de padronizar a organização de dados em todas as fases do ciclo de vida de um empreendimento – desde a concepção e projeto até a construção, operação, manutenção e eventual demolição. O OmniClass é composto por 15 tabelas temáticas, cada uma voltada a um aspecto específico do ambiente construído, como elementos, espaços, materiais, sistemas, processos e funções.

No contexto do BIM, o OmniClass funciona como uma estrutura de codificação que permite integrar e gerenciar informações dentro dos modelos digitais, facilitando a interoperabilidade entre softwares, a consistência na documentação e o compartilhamento de dados entre os diversos agentes envolvidos no projeto. Ao adotar o OmniClass, os elementos modelados no BIM podem ser identificados, classificados e recuperados com maior precisão, promovendo padronização e clareza na troca de informações ao longo de todo o ciclo de vida da edificação.

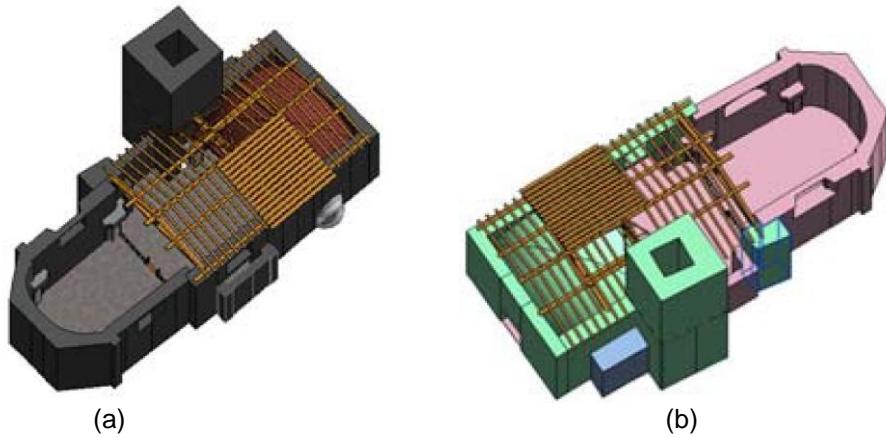
Como demonstrado nesse capítulo, a utilização das tecnologias HBIM já conta com alguns estudos e já é realidade em se tratando de documentação e conservação do patrimônio da arquitetura moderna no Brasil. No entanto, faz-se necessária sua aplicação na documentação e preservação tanto dos métodos e tecnologias construtivas como dos edifícios e da arquitetura etnocultural dos povos originários do Brasil, enquanto parte do patrimônio cultural material e imaterial do Brasil.

3.11 HBIM NA CONSERVAÇÃO DE ESTRUTURAS DE MADEIRA

Em se tratando de documentação e conservação de estruturas históricas em madeira, a metodologia HBIM já vem sendo aplicada em alguns países como Itália, Coreia do Sul e Brasil. Diversos estudos já mostram como a tecnologia BIM pode ser uma aliada na conservação de estruturas de madeira. A aplicação da metodologia HBIM para arquitetura em madeira geralmente está associada a documentação de tesouras e elementos de cobertura (Jiang et al., 2020; Oreni et al., 2013, 2014; Youn; Yoon; Ryoo, 2021).

Oreni et al. (2013) mostram no artigo “HBIM para conservação e manutenção do patrimônio construído: Por meio de uma biblioteca de Abóbadas e vigas de madeira” como a tecnologia do HBIM já vem sendo usada para a documentação e restauração de pisos e coberturas em madeira de igrejas antigas na Itália (Figura 26).

Figura 26 — HBIM Catedrais Italianas: (a) modelo HBIM madeiramento (b) Modelo HBIM analítico

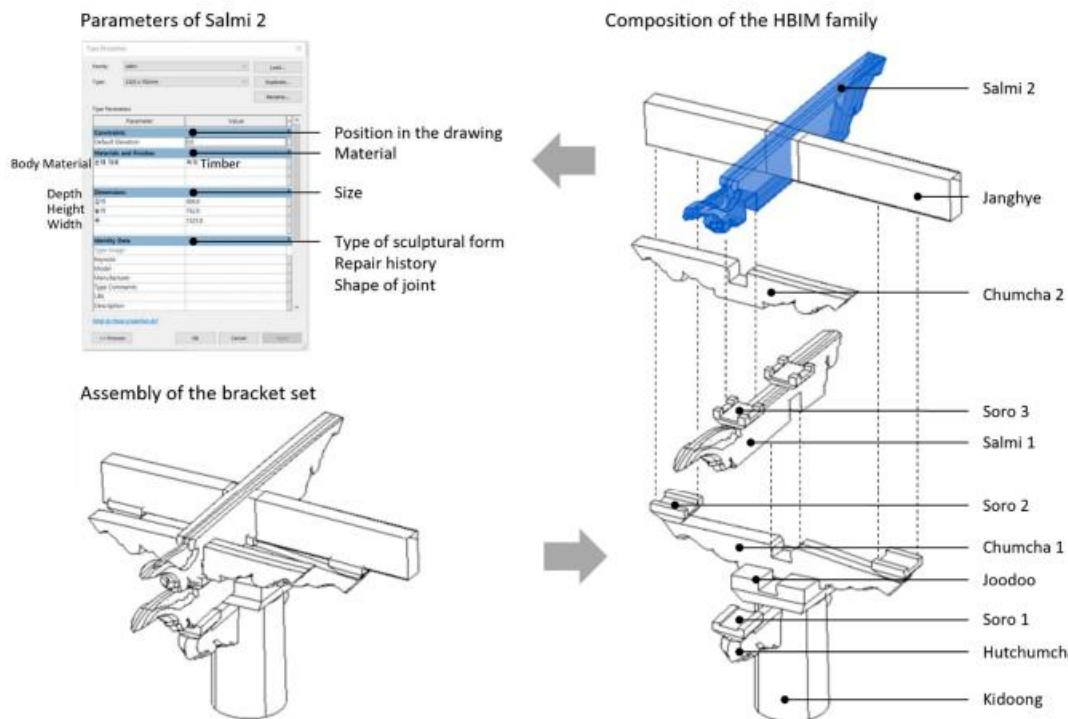


Fonte: Reproduzido de Lorenzi *et al.* (2016).

É também assim que Youn, Yoon e Ryoo (2021), no artigo “HBIM para a caracterização da Arquitetura Tradicional Coreana em madeira: Modelagem de estruturas baseada em escaneamento 3D”, mostram a utilização do HBIM a partir de levantamento por nuvem de pontos em estruturas tradicionais em madeira da arquitetura coreana. A arquitetura tradicional coreana é formada por uma série de encaixes entre os elementos construtivos em madeira, o que, segundo o estudo, dificulta a documentação e a compreensão dos sistemas construtivos.

Nesse artigo, cada modelo 3D levantado a partir de nuvem de pontos foi convertido em uma família de elementos estruturais dentro do software Revit com o nome original da arquitetura tradicional coreana para possibilitar o entendimento das soluções construtivas. A informação necessária para cada família está conectada como um parâmetro. Portanto, por meio dessa modelagem, a posição, o tamanho, o tipo de conexão e o histórico de criação de cada membro pode ser integralmente identificado (Figura 27).

Figura 27 — Conexões Seoikheon - Parâmetros de identificação na arquitetura tradicional coreana



Fonte: Reproduzido de Youn, H. et al. (2021, p. 9).

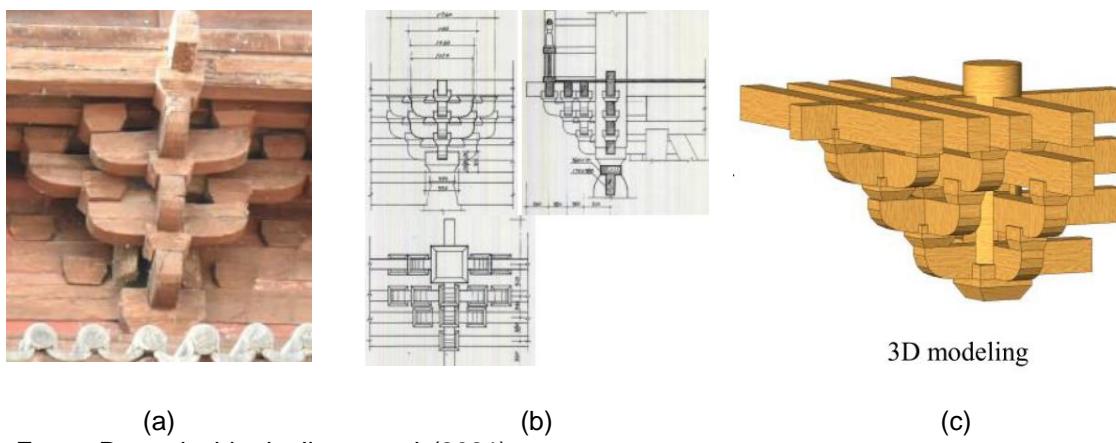
Youn *et al.* (2021) observam que a maioria das pesquisas de HBIM se concentrou na arquitetura ocidental, normalmente de forma ortogonal e desenvolvida com elementos construtivos em pedra, o que o autor denomina “arquitetura de pedra”. Para Youn *et al.* (2021), isso ocorre por alguns fatores, dentre eles: o fato de as tecnologias como digitalização 3D e fotogrametria, consideradas a base do HBIM, terem sido criadas no Ocidente e pelo fato de a maioria dos *softwares* de modelagem BIM serem desenvolvidos por empresas do Ocidente, essas tecnologias são voltadas majoritariamente para modelagens ortogonais e categorizações mais comuns nas tipologias arquitetônicas ocidentais, o que o autor chama de “arquitetura de pedra”, com edifícios de maioria ortogonais e formados por elementos construtivos divididos ontologicamente conforme as categorias que estão presentes nos *softwares* de modelagem BIM. Segundo esses autores, um processo de descolonização é necessário para desenvolver mais pesquisas sobre o patrimônio arquitetônico de madeira (Youn *et al.*, 2021).

Outro fator que contribui para a dificuldade na modelagem de tipologias arquitetônicas históricas não usuais (na colonialidade) é o fato de que os *softwares* BIM não foram desenvolvidos para modelagem de edificações históricas – isso não

interessa à indústria da construção civil – tampouco para modelagem de edificações históricas não coloniais, de arquitetura tradicional, desenvolvida com saberes e técnicas ancestrais por povos originários indígenas e afrodescendentes.

Jiang *et al.* (2020), no artigo intitulado “Desenvolvimento e aplicação de um método de modelagem inteligente para arquitetura ancestral em madeira”, mostram como a tecnologia de modelagem HBIM pode ser útil na catalogação e conservação das complexas estruturas de madeira de herança histórica (*Ancient Wooden Architecture - AWA*). Nesse estudo, foi proposto um modelo paramétrico para os principais componentes que integram de maneira inteligente o conhecimento histórico, assim como um método inteligente de modelagem desses componentes. (Figura 28). A pesquisa tem como estudo de caso uma estrutura AWA construída durante as dinastias Liao e Song. Propôs-se inicialmente um modelo paramétrico dos componentes típicos, com ênfase tanto em suas características em comum quanto em suas características específicas e, na sequência, desenvolveu-se e programou-se um método inteligente de modelagem automatizada por meio da plataforma Dynamo, capaz de identificar automaticamente o tipo de componente e inferir dimensões não visíveis.

Figura 28 — Imagem real (a), dados métricos (b), Modelo BIM (c)

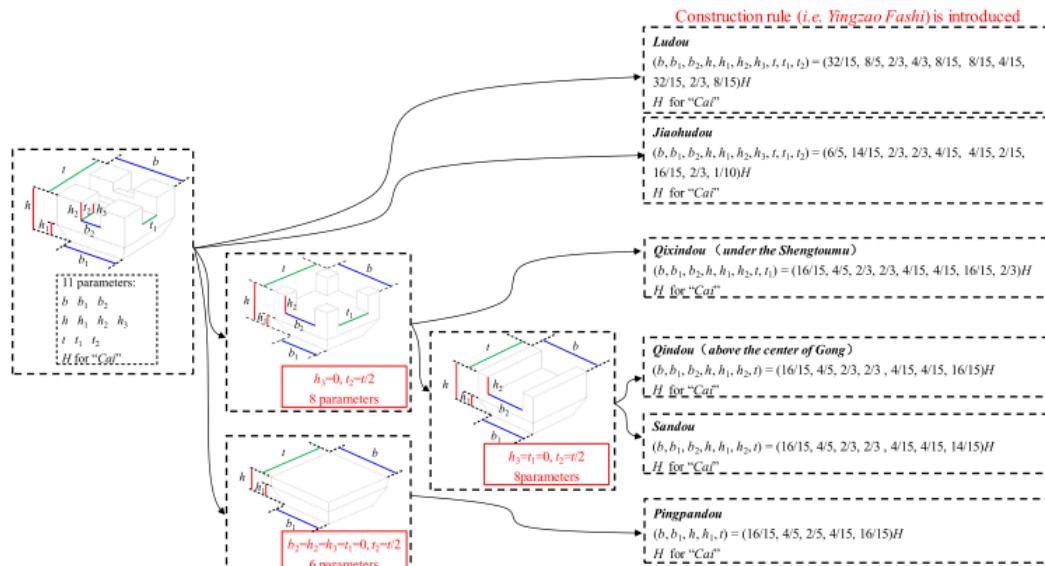


Fonte: Reproduzido de Jiang *et al.* (2021).

A pesquisa demonstrou como a aplicação do *plug in* de parametrização Autodesk Dynamo e os processos paramétricos de modelagem podem auxiliar na geração de formas complexas da arquitetura ancestral coreana em madeira. Um *dougong*, elemento estrutural típico da arquitetura coreana, de configuração complexa, foi modelado com êxito, a partir de dados de levantamento, utilizando o método

proposto, em um tempo inferior a cinco minutos, o que valida a confiabilidade e a eficiência da abordagem da pesquisa coreana (Figura 29).

Figura 29 — Regras paramétricas compartilhadas para a modelagem HBIM de peças não convencionais da arquitetura tradicional coreana



Fonte: Reproduzido de Jiang et al. (2021).

A modelagem em BIM das habitações de estruturas ancestrais de valor histórico busca demonstrar, experimentalmente, qual nível de detalhe pode ser aplicado nos modelos HBIM e quais informações podem ser incorporadas a estes modelos, para que essa tecnologia possa ser útil no processo de documentação e preservação desse bem cultural e possa embasar a análise e a conservação dessas edificações.

Por ter como estudo de caso o início da catalogação de habitações indígenas brasileiras dentro da plataforma BIM, a presente pesquisa está enquadrada dentro do conceito HBIM e tem como foco trazer contribuições para as linhas de pesquisa relativas aos temas de conservação do patrimônio e preservação de bens culturais na arquitetura.

O presente estudo relaciona e analisa as potencialidades do uso da plataforma BIM como aliada no aprimoramento tecnológico e crescimento intelectual do campo da tecnologia e da conservação do patrimônio cultural utilizando-se da proposta de levantamento, documentação digital e modelagem HBIM de arquiteturas indígenas. Aplica-se, ainda, nesse estudo, o uso BIM relacionado à análise e à simulação do comportamento estrutural como mais uma ferramenta a ser utilizada na salvaguarda e conservação das técnicas e soluções estruturais empregadas por esses povos.

4 ARQUITETURA INDÍGENA BRASILEIRA

As manifestações, a história e a produção arquitetônica dos povos originários no Brasil “[...] não encontram lugar na teoria e história da arquitetura brasileira, é como se não tivessem contribuição a oferecer, enquanto modelos de estabilidade, conforto e beleza; que é o que são [...]” (Oliveira, 2007, p. 11).

Apesar de ainda pouco estudada, a arquitetura indígena brasileira conta com importantes trabalhos voltados especificamente para essa área, como é o caso da publicação “Habitações Indígenas” (Novaes, 1983). A obra, organizada por Sylvia Caiuby Novaes em 1983, constitui uma contribuição significativa para os estudos sobre a arquitetura e o espaço nas sociedades indígenas brasileiras. Composta por diversos artigos de renomadas antropólogas, a coletânea aborda a organização espacial e os significados atribuídos às habitações por diferentes grupos, como os Bororo, Xavante, Kaiapó-Xikrin, Parakanã, Yawalapiti, Karajá, Waiãpi e Wayana.

A publicação da Suma Etnológica Brasileira (1986), organizada pelos antropólogos Berta Ribeiro e Darcy Ribeiro, representou um marco fundamental para os estudos etnográficos no Brasil, ao reunir e sistematizar de maneira abrangente o conhecimento produzido até então sobre os povos indígenas do país. A obra apresenta uma visão multidisciplinar das sociedades indígenas, valorizando sua diversidade cultural, linguística e social. Trata-se de uma das mais importantes produções acadêmicas voltadas à valorização e preservação do patrimônio indígena brasileiro (Costa; Malhano, 1986).

O volume 2, de nome “Tecnologia Indígena”, tem o primeiro capítulo intitulado “Habitação Indígena Brasileira”. Nesse capítulo, é apresentado de que forma Bennet (1949), em seu trabalho etnográfico intitulado “Habitação”, parte 1 do livro “*Handbook of South American Indians*”, focou principalmente nos povos andinos e sua arquitetura em pedra e deu menor ênfase ao que Berta Ribeiro chamou posteriormente de “civilização da palha”, (Costa; Malhano, 1986) termo utilizado com precisão para enaltecer uma das características principais dessas sociedades: sua tecnologia cesteira em palha, material construtivo que é essencial para a adaptação ao meio ambiente das regiões onde se encontram os indígenas brasileiros (Bennet, 1949; Costa e Malhano, 1986).

Almeida e Yamashita (2013), em relação ao uso da palha na arquitetura indígena brasileira, afirmam:

Quando estudamos as terras da América do Sul, encontramos um clima totalmente diferente: do norte de Roraima até o estado de São Paulo, estamos em um clima equatorial ou tropical, no qual a variação de temperatura entre o dia e a noite é superior à variação da temperatura entre o período mais frio e o período mais quente do ano. Em grande parte da região, o calor, e não o frio, é o elemento do qual o homem deve se proteger, e a umidade é o grande vilão do conforto. É nesse contexto que surge a arquitetura indígena, feita de estruturas leves, permeáveis ao ar, que retira o calor em excesso e, principalmente, remove a umidade, que embolora e mofa qualquer coisa (Almeida; Yamashita, 1986, p. 28).

A arquitetura dos povos indígenas, existente muitos séculos antes da invasão e colonização portuguesa, deve ser entendida como a primeira forma de construir existente na região que hoje denominamos Brasil, livre de qualquer influência europeia (Santos, 2014). Classificada como vernacular, esta arquitetura tem suas bases fundadas no conhecimento empírico, no qual domina a tradição oral e visual.

O conhecimento é passado de maneira ancestral, de mestre para aprendiz por meio da prática e baseado nas experiências de vida. Para essas culturas e esses indivíduos, que não se pautam pela academia e pela ciência ocidental moderna, os parâmetros e regras estão baseadas na experiência empírica.

A pesquisa de Santos (2014), intitulada “Arquitetura Vernácula e seu comportamento estrutural: A casa Xavante”, mostra o comportamento estrutural de uma habitação indígena a partir da construção de modelos bidimensionais e apresenta um estudo dos esforços e componentes estruturais utilizados na arquitetura do povo Xavante.

A dissertação de mestrado de Troncarelli (2019), de nome “Arquitetura indígena alto xinguana: um estudo iconográfico das representações”, investiga a construção do imaginário das habitações indígenas do povo Kamayurá, a partir das representações gráficas, principalmente a fotografia, imaginários e memórias que sustentam a própria identidade cultural e a arquitetura desse povo.

Para Almeida e Yamashita (2013), as construções indígenas são resultado de uma evolução de centenas ou milhares de anos pela interação do ser humano com o ambiente no qual vive. Além disso, são fontes importantes de conhecimento sobre como é possível a sobrevivência em clima equatorial úmido sem necessidade de recorrer a meios de condicionamento artificial, por exemplo. No artigo intitulado

“Arquitetura Indígena”, Almeida e Yamashita (2013) categorizam a arquitetura indígena segundo o uso: casas aldeia e casas unifamiliares; e segundo a forma: plantas circulares, plantas retangulares, elípticas, semielípticas e poligonais.

De Oliveira (2007), em sua dissertação de mestrado intitulada “Casas sagradas Aruak e Tukano”, mostra a necessidade de se reconhecer as habitações tradicionais indígenas como parte do patrimônio arquitetônico cultural brasileiro. Segundo o autor, as habitações indígenas brasileiras vêm ganhando importância e espaço enquanto patrimônio histórico. Bens culturais materiais e imateriais desses povos, antes esquecidos, agora são colocados como bens necessários de serem preservados.

Oliveira (2007) reivindica para a maloca⁸ (habitação indígena) lugar de destaque no panorama do patrimônio histórico artístico cultural brasileiro, enquanto patrimônio arquitetônico, *status* antes reservado somente à arquitetura colonial europeia. A maloca Tukano, por exemplo (Figura 30), pode ser definida como elemento síntese da cultura material e imaterial desses povos uma vez que está repleta de símbolos e significados. Mais do que uma simples moradia, a maloca configura-se como um espaço multifuncional e simbólico, onde ocorrem rituais, decisões políticas e atividades cotidianas, sendo considerada uma representação microcósmica da organização social e cosmológica de um povo (Melatti; Melatti, 1986; Oliveira, 2007).

Figura 30 — OK ETÉ - Casa aldeia Tukano: (a) Fachada frontal (b) Perspectiva Isométrica



Fonte: Reproduzido de Oliveira (2007).

A Universidade de Brasília (UnB), em parceria com o Ministério da Educação, ofertou, em 2010, pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, a disciplina “Artes e

⁸ A palavra maloca possui origem nas línguas indígenas sul-americanas, especialmente entre os povos de tradição Aruaque da região amazônica. Originalmente, o termo designa as grandes habitações coletivas construídas por diferentes grupos indígenas, como os Tukano, Baniwa e Yanomami, nas quais vivem diversas famílias extensas pertencentes a um mesmo clã ou linhagem.

Ofícios dos saberes tradicionais”, ministrada pelo arquiteto indígena Maniwa Kamayurá, o primeiro projeto da UnB e do Brasil de reconhecimento dos mestres de notório saber na arquitetura indígena.

No ano de 2019, foi lançado, pela Escola da Cidade, o “Manual de arquitetura Kamayurá” (Escola da Cidade; Povo Kamayurá, 2019), contendo informações construtivas acerca das principais edificações dessa etnia. O manual contém um vasto material etnográfico acerca da arquitetura do povo Kamayurá, com detalhes construtivos, processos construtivos e desenhos técnicos. O manual trata, dentre outros temas, sobre os sistemas estruturais, tipos de nós e conexões desenvolvidas pela tecnologia indígena, além das espécies de madeira utilizadas e das tipologias arquitetônicas e seus usos.

O livro “Tecnologias indígenas no Mato Grosso” (Portocarrero, 2018) se mostra uma iniciativa importante para o incremento da investigação sobre a arquitetura indígena. A publicação é um dos resultados do grupo de pesquisa criado em 2007, “Tecnoíndia: Núcleo de estudos e pesquisas tecnológicas indígenas”, então coordenado pela antropóloga Maria Fátima R. Machado e pelo arquiteto José A. B. Portocarrero na Universidade Federal do Mato Grosso (UFMT), em Cuiabá. Nesta publicação, os autores tratam sobre o desenho das habitações tradicionais de dez povos indígenas presentes no estado do Mato Grosso, abordando suas tipologias, soluções arquitetônicas e seus aspectos.

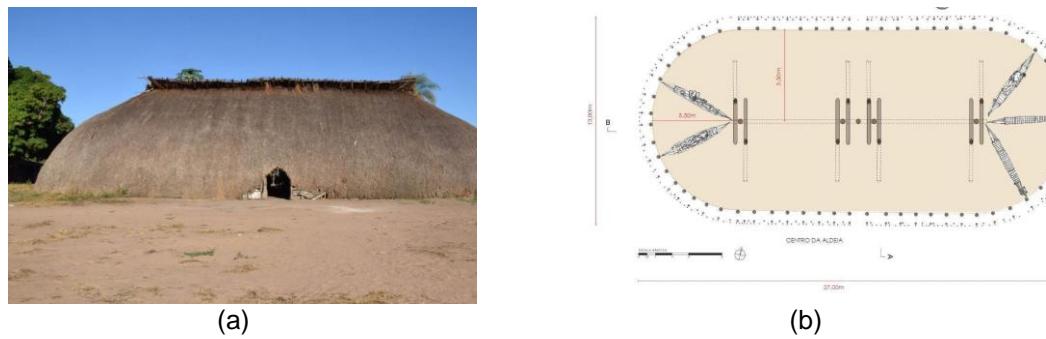
A arquitetura vernacular em madeira dos povos afrodescendentes também está presente nas pesquisas desenvolvidas pela Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília (FAU-UnB). A tecnologia e os saberes tradicionais dos Kalunga, povo quilombola que habita o estado de Goiás, está documentada pelo trabalho “Guia da arquitetura vernacular Kalunga”, organizado pela professora Liza Andrade. O trabalho documenta e divulga os saberes e tradições construtivas do povo Kalunga, destacando aspectos culturais e sociais presentes na tradição arquitetônica desse povo como a autoconstrução por mutirões, o uso racional dos materiais locais e a preservação dos saberes ancestrais (Andrade et al., 2023).

Outra publicação importante sobre o tema da arquitetura vernacular em madeira é o trabalho organizado pelo professor Júlio Eustáquio de Mello pela FAU-UnB em 2002 e republicado em 2024 com o título de “Habitação Social em Madeira”. Nesse trabalho está detalhado o processo construtivo de uma habitação social em

madeira. O livro traz uma alternativa viável e de baixo custo ao enfrentamento do déficit habitacional, especialmente no Norte do Brasil. A pesquisa traz a indicação dos usos específicos e as propriedades físicas e mecânicas de diversas espécies nativas de madeira usadas na arquitetura vernacular do Brasil.

A arquitetura indígena e vernacular brasileira já se utiliza da madeira como material estrutural e domina suas técnicas construtivas há séculos. Um dos recursos naturais mais abundantes no território brasileiro, a madeira sempre foi o elemento construtivo principal dos povos que ocupavam o território brasileiro antes da chegada dos colonizadores. Tal aplicação se deu explorando tecnologicamente, ainda que de maneira empírica, todo o potencial estrutural desse material. As residências multifamiliares (malocas) xinguanas utilizam tecnologia ancestral na aplicação da madeira em estruturas de grandes vãos desde antes do contato com os colonizadores, por exemplo. Portocarrero, 2018; Santos, 2014). Segundo o manual de arquitetura Kamayurá, (Escola da Cidade; Povo Kamayurá, 2019), existem estruturas de até 13 metros de vão e até 7,5 metros de pé direito construídas por esses povos (Figura 31).

Figura 31 — OK ETÉ - Casa tradicional Kamayurá: (a) Fachada frontal (b) Planta Baixa



Fonte: Manual de Arquitetura Kamayurá (Escola das Cidades; Povo Kamayurá; 2019).

As tipologias estruturais desenvolvidas pelos povos originários do Brasil são diversas e se diferenciam entre si de acordo com a solução formal e espacial. No caso da arquitetura dos povos xinguanos, por exemplo, essas tipologias são em sua maioria uma evolução topológica da forma, com sistema de paredes-coberturas, geralmente em forma de pórticos tensionados e que podem ser categorizadas como estruturas em casca: um sistema estrutural formado por elementos verticais e horizontais esbeltos e dispostos em camadas sobrepostas, para garantir rigidez e resistência ao todo e muitas vezes comparado ao corpo humano e seus diferentes sistemas sobrepostos.

4.1 O SER “CASA” DOS POVOS XINGUANOS

Segundo Guerreiro *et al.* (2012), as edificações residenciais para os povos indígenas brasileiros têm, em sua grande maioria, um significado dentro da cosmovisão desses povos muito mais abrangente do que simplesmente um abrigo. Além do sentido de proteção e pertencimento que um lar traz consigo, essas casas muitas vezes são vistas como um ser mágico, com poderes e funções muito bem estipuladas (Guerreiro; Brasília, 2012; Oliveira, 2007).

Para alguns povos, como os Kalapalo do Xingu, existe uma identificação dessas casas tal como pessoas, membros da aldeia, como conta Guerreiro em sua tese intitulada “Uma etnografia da chefia kalapalo e seu ritual mortuário”.

[...] Levei um grande susto em 2009 quando dois rapazes que estavam em Brasília me disseram que, depois da saída de algumas pessoas de Aiha, a aldeia agora estaria com apenas “17 pessoas”. Lembrando do que diz Lima (2005) sobre como os Yudjá contam as pessoas, imaginei que esse número pudesse se referir aos homens adultos da aldeia, mas ainda assim me parecia muito pouco. Quando cheguei em Aiha, vi que a aldeia estava cheia, não parecia ter se esvaziado tanto, e havia muito mais do que 17 homens adultos. Havia, porém, apenas 17 casas (Guerreiro; Brasília, 2012, p. 273).

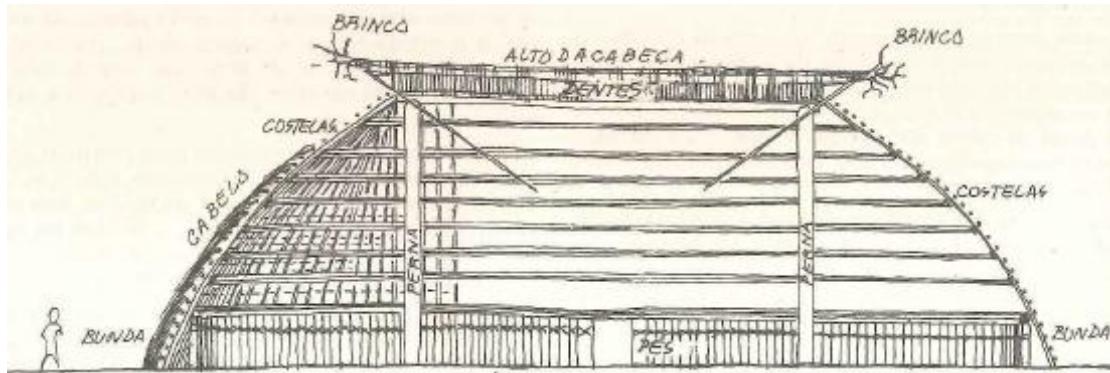
Logo, para os povos xinguanos, se a casa é tida como uma pessoa, ela também possui um corpo: com tronco, costelas, axilas, pescoço, cabeça, colar, plumária, e está armada de uma lança de pesca. Segundo Guerreiro e Brasília (2012), vista de fora, a casa é análoga ao corpo de um pescador ornamentado para a festa, reunindo os dois elementos que os xinguanos consideram como seus diferenciais: a prática de seus rituais e a centralidade dos peixes em seu costume alimentar. Para Almeida e Yamashita (1986), para que a casa permaneça em equilíbrio:

[...] deve ter bons pés plantados no chão, e pernas firmes. Daí, os esteios principais da casa – aqueles dispostos nos focos centrais de uma elipse – ser chamados “pernas” da casa. A parte da construção correspondente ao trecho médio superior da fachada principal é relacionada ao peito e o setor oposto, na fachada posterior, é considerado como as “costas” da casa. Os “pés” da casa são considerados como sendo o trecho junto do solo, formado pela carreira de caibros enterrados como os paus fincados em pé, para fazer as paredes. Os semicírculos laterais, correspondentes aos setores íntimos da casa, são chamados as “nádegas” da casa. A cumeeira está relacionada ao alto da cabeça, não exatamente a parte mais alta, mas sim, ao trecho entre o alto da cabeça e a testa. As ripas são consideradas como as “costelas” da casa e a palha ao que reveste os cabelos ou pelos [...] (Almeida; Yamashita, 2013, p. 19).

Portanto, a dimensão simbólica da construção de uma edificação, na cosmovisão dos povos indígenas, vai além da ideia de proteção e abrigo. Para muitos

povos a edificação se apresenta como mais um membro da sociedade e possui uma interpretação antropomórfica, com os elementos arquitetônicos e estruturais simbolizando cada parte de um corpo humano. Pilares são pernas; vigas, costelas; entrada e saída, como boca e ânus; além de receberem adornos como brincos (Figura 32).

Figura 32 — O “ser” casa, arquitetura antropomorfa xinguana



Fonte: Reproduzido de Costa e Malhano (1986 p. 56).

Dessa forma, a habitação indígena é entendida nessa presente pesquisa como um elemento síntese da cultura desses povos por estar repleta de signos e significados e se apresentar como um monumento vivo, símbolo da identidade cultural dos povos originários (Oliveira, 2007).

Não só a casa, maloca, seja ela unifamiliar ou plurifamiliar, mas do que a unidade habitacional, mas também o espaço ocupado e compartilhado por todos, a aldeia, é tido por muitos povos como um elemento de identidade cultural, como uma reprodução da organização espacial do cosmo e dos astros. Para Novaes (1983, pag. 04), “[...] não é somente a casa o ponto de referência a ser tomado para a elaboração da identidade, mas sim um espaço mais amplo e que, em geral, é a aldeia (como para os Bororo, os Xavante, os Wayana, os Xinguanos e os Xikrin), ou a casa comunitária (Waiampi), ou o espaço territorial tradicional de ocupação do grupo (Parakana) [...].”.

Todas as vezes que eu ia fazer pesquisa de campo entre os Bororo, levava lápis e papel e pedia as crianças que desenhassem o que quisessem. Além de animais - macacos, antas, jabotis - os mais frequentes eram desenhos que representavam o círculo de casas da aldeia, com a casa dos homens no centro. O interessante a ser observado é que as crianças Bororo (ao contrário das "nossas" crianças) jamais desenhavam urna única casa isolada, e sim um conjunto delas, formando a aldeia (Novaes, 1983 p. 4).

A organização espacial e forma de interagir com o espaço é parte fundamental da cultura dos povos indígenas, como no caso do *warã* - espaço central da aldeia -

para os povos Xavante. O conceito de *warã* ocupa um lugar central na cosmologia e na vida social do povo Xavante, funcionando como um princípio vital coletivo que orienta as relações sociais, espirituais e políticas do grupo.

Mais do que uma simples ideia, o *warã* expressa um modo de ser do povo A'uwe, fundamentado na coletividade, na reciprocidade e na continuidade dos saberes ancestrais. Mais do que um espaço, o *warã* é uma força que une o povo, garantindo a coesão interna e a transmissão das tradições através dos rituais, cânticos e práticas cotidianas.

O *warã* está presente em discursos performáticos e ceremoniais do povo Xavante e representa a própria vitalidade e imortalidade do povo Xavante. Em contextos contemporâneos, o *warã* também assume uma dimensão política e simbólica de resistência cultural, sendo mobilizado como instrumento de reafirmação identitária diante das ameaças externas que impactam os territórios e modos de vida indígenas (Lopes, 1992; Sá, 1982a; Silva, 2006; Tavares, 2020).

A forma como as casas são construídas, divididas e utilizadas reflete a cultura e a organização social de cada povo indígena e deve ser documentada e preservada enquanto importante bem imaterial da cultura desses povos.

Todos esses dados etnográficos não geométricos referentes à arquitetura e às tradições construtivas dos povos indígenas podem ser incorporados como metadados às informações presentes nos modelos HBIM. Assim, a modelagem paramétrica HBIM foi aplicada neste estudo para registrar, de maneira precisa, aspectos não só materiais como também imateriais, do patrimônio arquitetônico indígena brasileiro.

Dados etnográficos referentes aos processos construtivos, como rituais e códigos sociais presentes na construção de uma casa podem ser registrados e documentados em forma de informação semântica e relacionados com cada elemento construtivo presente no modelo HBIM. Para isso, outras formas de registro e documentação devem ser empregadas, como técnicas videográficas, entrevistas, desenhos artísticos entre outros.

No caso da arquitetura tradicional indígena brasileira, que inclui edifícios de madeira tensionada e complexas estruturas multicamadas, métodos de documentação 3D podem ajudar nessa tarefa. Como no caso da arquitetura tradicional coreana, a qual os elementos estruturais da edificação são formados por diversas peças que se encaixam, dificultando a documentação individual de cada

peça, na arquitetura dos povos indígenas no Brasil, as edificações são formadas por sistemas estruturais de peças de madeira de seção esbelta e combinadas em diversas camadas, que asseguram estabilidade e rigidez ao sistema como um todo.

Além da digitalização e modelagem, esta pesquisa analisa a tipologia estrutural das complexas estruturas de madeira e palha da arquitetura indígena brasileira como forma de documentar e preservar o conhecimento ancestral e as tecnologias tradicionais de *design* e construção em madeira enquanto importante bem cultural imaterial ameaçado.

4.2 HBIM NA ARQUITETURA INDÍGENA BRASILEIRA

De acordo com Salles *et al.* (2019), existe uma grande lacuna no processo de cadastramento de bens culturais arquitetônicos no Brasil. Em se tratando de conhecimento e patrimônio arquitetônico indígena brasileiro, poucos estudos foram feitos até o momento (Salles *et al.*, 2019; Schlee, 2012; Troncarelli, 2019).

Schlee (2012), em seu artigo “A contribuição dos arquitetos para o estudo da morada indígena”, traz uma revisão da literatura sobre o tema no Brasil e evidencia a urgente necessidade de desenvolvimento de estudos sobre o tema. Nesse estudo, Schlee (2012), parafraseando o arquiteto espanhol J. P. Bonta, mostra como a produção literária dos últimos séculos sobre o tema da habitação indígena vai da cegueira até a disseminação da interpretação canônica. O artigo finaliza com um alerta conclusivo:

O mesmo Censo 2010 que indicou um crescimento da população indígena brasileira (817,9 mil) demonstrou que apenas 12,6% dos seus domicílios correspondem ao tipo “oca” ou “maloca” – moradas tradicionais. Ou seja, 87,4% vivem em “casas” comuns. Ainda segundo o IBGE, “mesmo nas terras indígenas, ocas e malocas não são muito comuns: em apenas 2,9% das terras, todos os domicílios eram desse tipo e, em 58,7% das terras, elas não foram observadas”. Portanto, estamos falando de manifestações culturais em franco processo de desaparecimento. Tipos arquitetônicos em extinção. Bens culturais nacionais desprotegidos. Práticas e saberes não registrados. Um patrimônio que, segundo resumiu Darcy Ribeiro, “é, em muitos sentidos, o símbolo da comunidade que o edifica e que nela vive (Schlee, 2012, p.90).

De acordo com a arquiteta Cristina Sá em seu texto de prefácio para o livro “Tecnologia indígena no Mato Grosso” (Portocarrero, 2018), o uso da palavra arquitetura para se referir a edificações indígenas, por vezes, é motivo de polêmica no meio acadêmico. Para a arquiteta, o estudo sobre habitação indígena do Brasil

está praticamente ausente na maioria dos cursos de Arquitetura e Urbanismo das Universidades Brasileiras (Sá, 2015, in Portocarrero, 2018).

O mal-estar que a ideia de existir uma arquitetura indígena provoca pode ser atribuído ao descaso devido ao desconhecimento, mas também, ou principalmente, consequência da falsa imagem dos indígenas como incapazes de usos complexos do espaço, da criação de formas e técnicas para maior conforto e adaptação ao ambiente, incapazes enfim de produzir arquitetura (Sá 2015, in Portocarrero 2018, p. 19).

Classificada como vernacular, esta arquitetura tem suas bases fundadas no conhecimento empírico, no qual domina a tradição oral e visual. (Sá, 1982; Silva, 2006). Para essas culturas e esses indivíduos, que não se pautam pela academia, os parâmetros e regras estão baseadas em experiência e observação profunda de seu entorno, de seus recursos e na sua cosmovisão, que inclui a maneira como se colocam e ocupam o espaço.

O processo de documentação dessa arquitetura trata não só da investigação e conhecimento das tecnologias construtivas ancestrais, mas também da preservação da memória e da identidade cultural dos povos originários detentores desse conhecimento.

Para Santos (2014), os povos indígenas possuem maneiras de conceber suas edificações que se aproximam de nossas normas arquitetônicas, exigindo parâmetros mínimos no que se refere a durabilidade e desempenho. Ainda, utilizam sempre recursos locais e não pouparam esforços para que suas construções tenham vida útil de acordo com o tempo de uso desejado. Como construtores vernáculos, trabalham com modelos gerais muito bem consolidados pelo tempo e uso, caracterizando uma fonte de conhecimento sólida.

Para Tolentino (2018), diante do cenário atual, faz-se necessário o desenvolvimento de métodos que possam aprimorar o processo de documentação arquitetônica, aliando maior rapidez e precisão nas etapas de levantamento cadastral e processamento dos dados. É necessário que os órgãos governamentais responsáveis pela preservação do patrimônio, se atualizem e façam uso das tecnologias atuais de suporte na documentação e preservação do patrimônio cultural edificado. Porém, até o momento, no Brasil, não foram definidos, pelos institutos responsáveis pela preservação do patrimônio, protocolos e tecnologias para o levantamento dos bens a serem documentados digitalmente.

Um exemplo de aplicação de novas tecnologias digitais para a documentação do patrimônio indígena foi o caso da Gruta Sagrada de Kamukuwaká – pesquisa realizada pela Fundação Factum, na Espanha, em parceria com o povo Waujá do Alto Xingu, e o centro de arte e pesquisa People's Palace Project (PPP). Nesse caso, o modelo por nuvem de pontos foi usado para a reconstrução digital e impressão 3D de um *fac-símile* da gruta sagrada com a recomposição de escrituras rupestres vandalizadas (Figura 33).

Figura 33 — Restauração digital da Gruta sagrada de Kamukuwaká do povo Waujá



Fonte: Reproduzido de Factum (2019).

4.3 ARQUITETURA TOPOLOGÍCA INDÍGENA

Schumacher, Zheng e Kai (2017) em seu artigo “From Typology to Topology: Social, Spatial, and Structural” expõem o paradigma dos novos conceitos de topologia frente ao conceito modernista de tipologia estrutural. Para os autores, em contraponto à abordagem tipológica moderna de pilares, vigas, arcos e treliças, a engenharia contemporânea se tornou topológica e pode, portanto, servir melhor ao novo estilo arquitetônico que visa criar espaços fluídos e integrados. A arquitetura topológica

transforma diferentes seções espaciais em elementos contínuos, com funções duplicadas, elementos verticais organicamente se tornam elementos horizontais (Araújo et al., 2015).

Em estruturas tradicionais, a capacidade de analisar e calcular o comportamento da estrutura é baseada na pureza do tipo estrutural e no corte de todas as conexões redundantes. No entanto, tipos de sistemas estruturais conceitualmente distintos - viga contra arco etc. - estão desaparecendo da engenharia devido às novas técnicas de modelagem, como a análise de elementos finitos, o processo gerativo da forma e a arquitetura paramétrica (Schumacher; Zheng; Kai, 2017; Zhang; Xu; Wang, 2022).

Muitos autores contemporâneos veem esse tipo de abordagem como uma quebra de paradigma, uma mudança conceitual radical dentro da engenharia. Schumacher, Zheng e Kai (2017) consideram essa abordagem também como uma mudança ontológica, pois revoluciona as entidades mais básicas que constituem uma estrutura. Para esses autores, essa mudança na engenharia estrutural não foi desencadeada pelo novo estilo arquitetônico, mas sim pela evolução da ciência estrutural na busca pela otimização estrutural, em combinação aos avanços tecnológicos computacionais que tornam essa busca viável (Figura 34) (Schumacher; Zheng; Kai, 2017).

Figura 34 — Projeto para palácio em local desconhecido, de Zaha Hadid arquitetos



Fonte: Reproduzido de Schumacher, Zheng e Kai (2017).

Mas o que seria a tipologia estrutural indígena senão uma abordagem topológica dos sistemas estruturais? A arquitetura tradicional dos povos originários do Brasil, em sua grande maioria, é composta por tipologias estruturais, formada por

elementos estruturais tensionados curvos e elementos horizontais dispostos em camadas, que juntos funcionam como um único sistema da chamada “estrutura em casca”, uma arquitetura que também parte do ponto de vista topológico em aspectos como a fluidez dos espaços, muitas vezes sem fechamento físico (Sá, 1982), além dos elementos arquitetônicos com dupla função com fechamentos e coberturas em um mesmo elemento casca (Sá, 1982; Zhang; Xu; Wang, 2022).

Em comunidades vernáculas, as pessoas cultivam seu sistema de cultura de construção derivado de sua experiência e estilo de vida local, produzindo formas materiais indígenas, paradigmas de construção e cultura viva com continuidade diacrônica (Zhang; Xu; Wang, 2022, p. 874).

Em vez de edificações rigidamente definidas por medidas e funções fixas, como na tradição arquitetônica ocidental, as habitações indígenas no Brasil, em sua maioria, são configuradas como espaços dinâmicos, plurifuncionais e conectados a sistemas cosmológicos e territoriais mais amplos. A topologia permite pensar o espaço como campo de relações e intensidades, ideia que dialoga com a forma como os povos originários compreendem o lugar habitado como extensão do corpo, da memória e da coletividade.

5 ESTUDO DE CASO 1: MODELAGEM POR FONTES SECUNDÁRIAS

No estudo de caso 1, discutimos o processo de modelagem de três edifícios indígenas diferentes, usando o que Graham, Chow e Fai, (2018) definiram como fontes de dados secundárias para a modelagem HBIM, ou seja, sem o uso de recursos digitais de levantamento direto como aerofotogrametria e escâner *laser*, apenas com dados métricos bidimensionais (desenhos técnicos e arquivos CAD) e dados gráficos (fotos e croquis), transformados em dados espaciais tridimensionais.

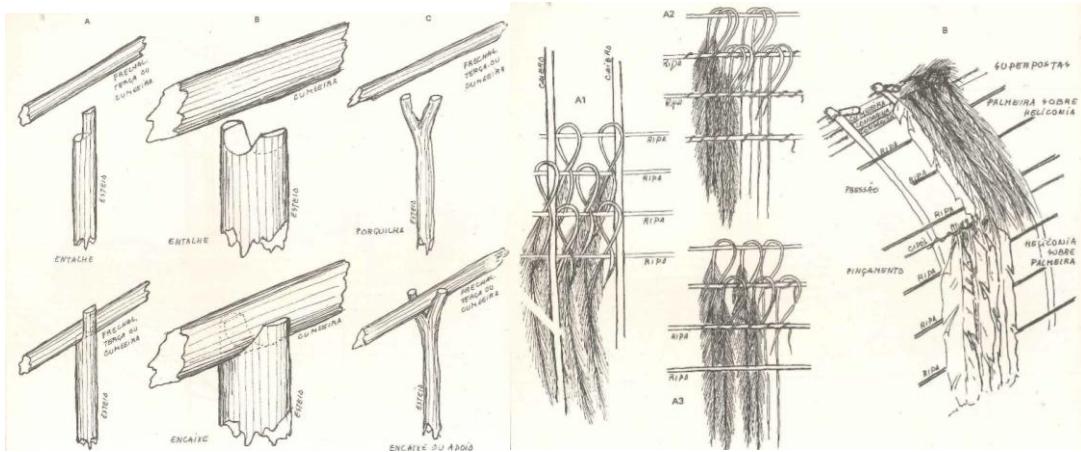
A literatura acerca da arquitetura indígena brasileira conta com algumas publicações importantes e dados arquitetônicos etnográficos significativos (Figura 35), como levantamentos em campo, desenhos não conferidos, fotos e textos historiográficos. Esses trabalhos foram usados como fontes de dados secundárias para suporte ao desenvolvimento dos modelos HBIM.

O estudo foi feito convertendo esses dados etnográficos em dados HBIM utilizáveis. Para tanto, três publicações essenciais (Costa; Malhano, 1986; Escola da Cidade; Povo Kamayurá, 2019; Portocarrero, 2018) sobre indígenas foram utilizadas como fontes para a modelagem paramétrica HBIM: o livro “Suma Etnológica Brasileira”, de Darcy Ribeiro e Berta Ribeiro (1986); a publicação “Manual de Arquitetura Kamayurá”, desenvolvida pela Escola da Cidade, São Paulo; e o livro “Tecnologia Indígena no Mato Grosso”; do Professor Portocarrero (Portocarrero, 2018).

Dentre as etnias estudadas para produzir este trabalho, as casas dos povos Xavante, Kamayurá e Paresí foram escolhidas por dois motivos principais. O primeiro está relacionado à tipologia estrutural, formada por arcos ogivais, que têm sido amplamente utilizados ao longo da história. A segunda diz respeito à facilidade de acesso a materiais etnográficos utilizados como fonte de dados para modelagem.

As estruturas foram modeladas no software Autodesk Revit e cada elemento construtivo foi executado de acordo com as categorias presentes no software. Pilares, vigas e demais elementos foram modelados como elementos estruturais. Foram inseridos dados métricos como distância entre as peças, diâmetros e altura das peças (patrimônio material) e informações não geométricas como espécie das madeiras e propriedades físicas de cada material (patrimônio imaterial).

Figura 35 — Informações não geométricas atribuídas como metadados nos modelos HBIM



Fonte: Reproduzido de Costa e Malhano (1986, pp. 46 - 48).

Os povos originários que hoje habitam a área sul do Parque Nacional do Xingu, apesar de serem povos diferentes com línguas, muitas vezes, ininteligíveis entre si, possuem modos de construir e tipologias muito similares. Para Sá (2018), as semelhanças já observadas entre os povos Kamayurá, Mehinako e Kalapalo, por exemplo, podem se estender para outros povos indígenas alto-xinguanos (Sá, 2015 *in* Portocarrero, 2018).

Tais semelhanças por vezes são encontradas além da região do Alto Xingu, como é o caso da etnia Paresí, que desenvolve uma edificação com um resultado formal e uma organização espacial similar a dos povos alto-xinguanos, porém com uma grande diferença na solução estrutural adotada, conforme será demonstrado mais à frente nesta pesquisa.

Sob o ponto de vista da tipologia estrutural presente na arquitetura dos povos indígenas, pode-se observar que existem diferentes soluções adotadas por cada povo ao longo de séculos de ocupação do território. Há edificações de diferentes nações indígenas com usos, resultados formais e volumétrias similares, porém com soluções e tipologias estruturais bem diferentes entre si, o que demonstra a riqueza do conhecimento desses povos acerca das tecnologias de construção com madeira em clima tropical.

O presente estudo, além do levantamento e documentação, busca também a compreensão do comportamento estrutural dessas habitações indígenas, a partir da construção de modelos geométricos na plataforma BIM. Para melhor atingir este objetivo, é necessária a escolha de mais de uma estrutura específica para o estudo de suas tipologias e componentes estruturais.

5.1 CASA HÖK – POVO KAMAYURÁ

Os Kamayurá fazem parte das quatorze etnias indígenas no Parque Nacional do Xingu, no estado do Mato Grosso. Vivem entre os rios Kuluene e Kuliseu, próximo a grande lagoa de Ipavu, no Alto do Xingu, município de Canarana. A língua Kamayurá pertence ao tronco linguístico tupi-guarani.

A arquitetura Kamayurá (Figura 36) não pode ser compreendida isoladamente de sua cosmovisão. No centro das aldeias Kamayurá, localiza-se a casa dos homens (*menhyt*), um espaço ritual e político reservado a encontros, danças e cerimônias. Essa construção reforça a organização social do grupo e o papel central da coletividade. A disposição espacial das casas ao redor da *menhyt* também revela a importância da circularidade como princípio estruturante — um símbolo da vida cíclica, da continuidade e da integração entre os indivíduos, o grupo e a natureza.

Figura 36 — Casa Hök do povo Kamayurá

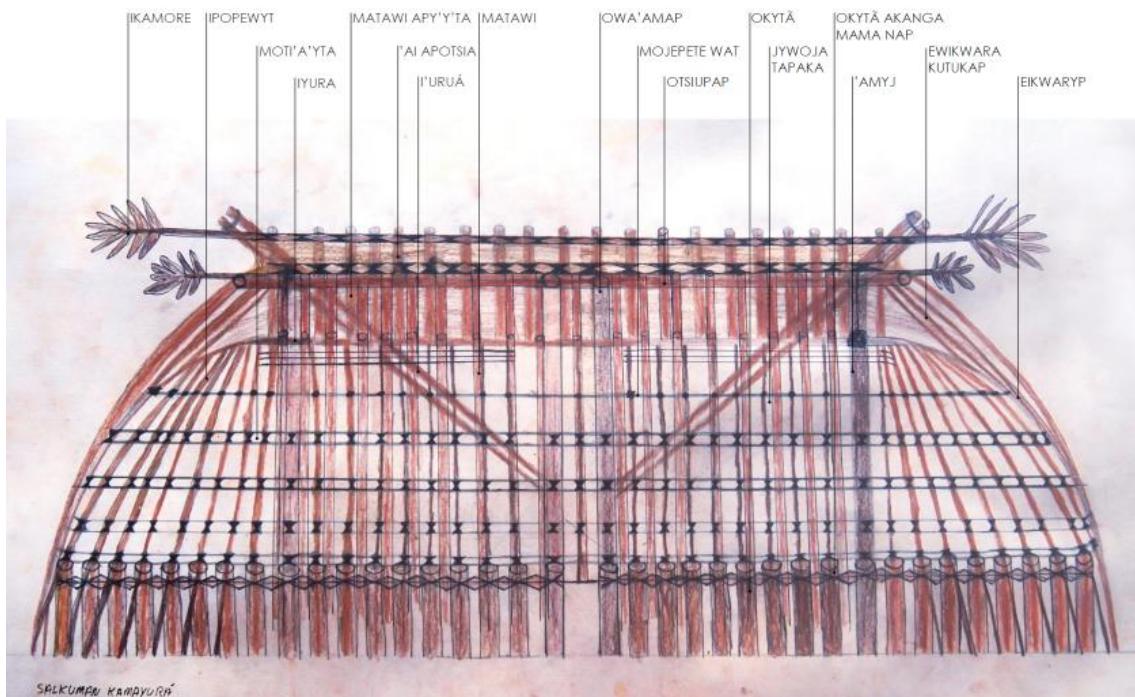


Fonte: Reproduzido do Manual de arquitetura Kamayurá (2018, p. 9).

O processo de modelagem foi desenvolvido no software Autodesk Revit® a partir da inserção de arquivos CAD alinhados com vista e cortes. Como fonte secundária de dados para a modelagem BIM do sistema estrutural da casa Kamayurá foram usados a publicação “Manual de arquitetura Kamayurá” (Escola da Cidade;

Povo Kamayurá, 2019) e o livro de Portocarrero (2018) “Tecnologias indígenas no Mato Grosso”. O Manual descreve detalhadamente o processo de construção da casa Hök, nomeando os elementos construtivos de acordo com a língua e a tradição do povo e definindo as espécies de madeira utilizadas em cada elemento estrutural (Figura 37).

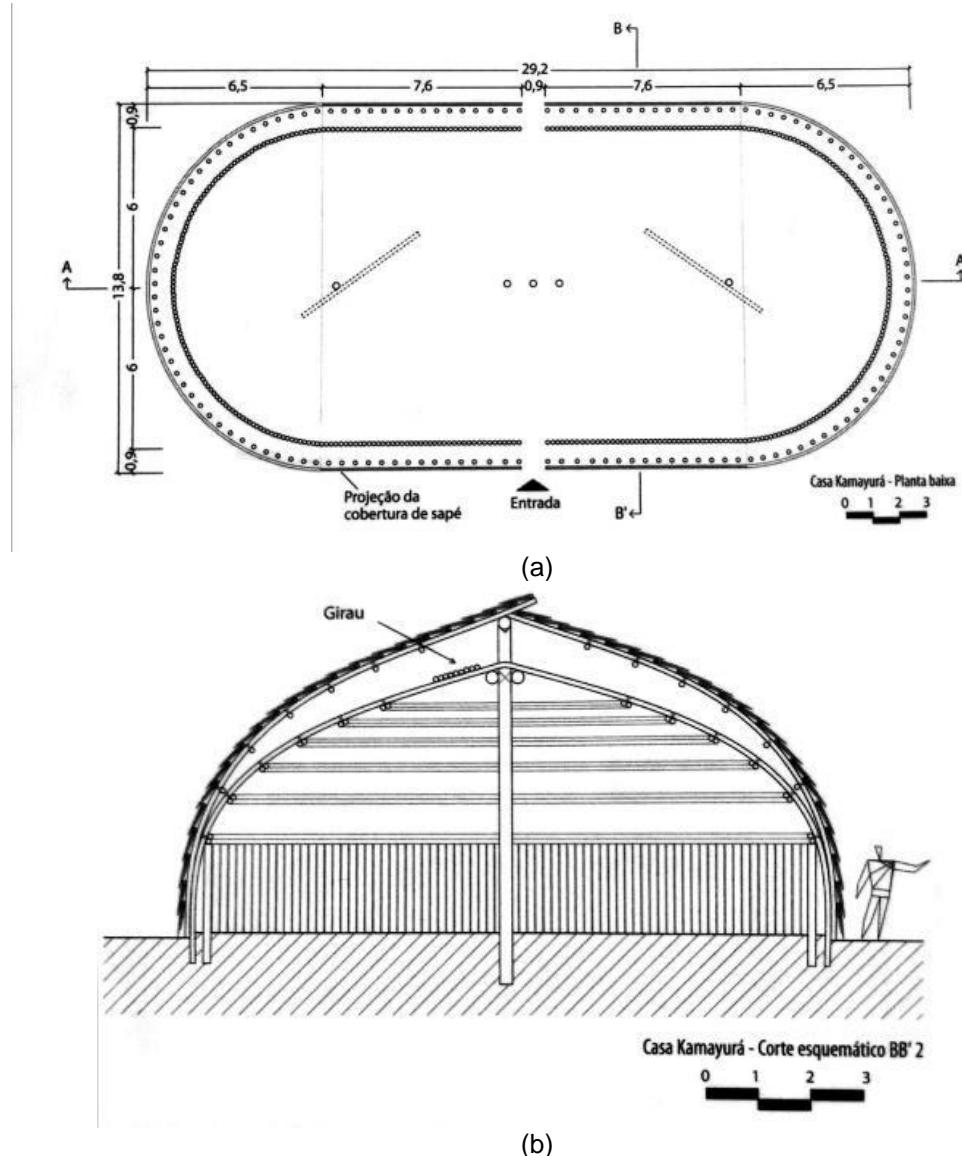
Figura 37 — Arquitetura antropomórfica povo Kamayurá



Fonte: Arte por Salkuman Kamayurá, Escola da Cidade; Povo Kamayurá (2019).

Como fontes secundárias de dados foram usados também dados métricos verificados. Durante a pesquisa, foram fornecidos os levantamentos feitos em CAD, contendo planta e cortes, que foram executados pela equipe da Escola da Cidade, SP, na aldeia Ipavu, na ocasião da oficina mencionada anteriormente, que resultou na criação do Manual de arquitetura Kamayurá e que serviram como base para a modelagem HBIM (Figura 38).

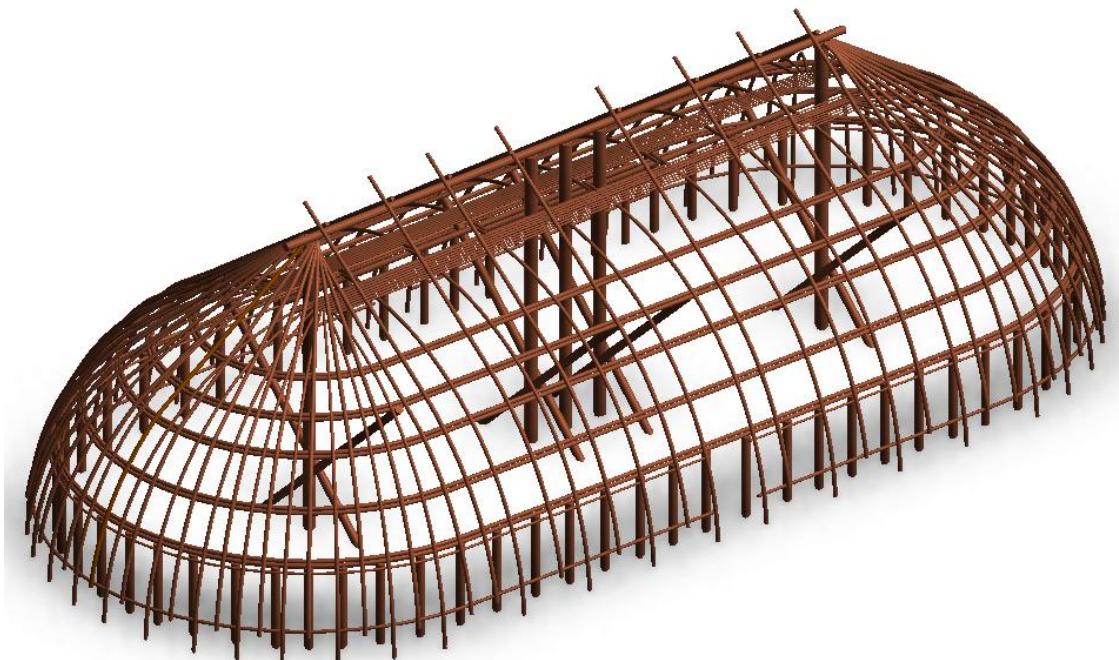
Figura 38 — Dados Métricos de fontes secundárias. Peças gráficas da casa Hök: (a) Planta Baixa (b) Corte Transversal esquemático



Fonte: Reproduzido de Portocarrero (2018, pp. 141 - 142).

Conforme apresentado anteriormente, a modelagem paramétrica da casa Hök do povo Kamayurá foi desenvolvida a partir de fontes secundárias de dados métricos e acrescida de dados etnográficos (dados semânticos), conforme demonstrado nos resultados a seguir. O modelo foi desenvolvido considerando todos os elementos estruturais presentes nos levantamentos e parametrizados com metadados como o tipo de madeira de cada elemento conforme descrito mais adiante (Figura 39).

Figura 39 — Modelo HBIM da casa Hök do povo Kamayurá



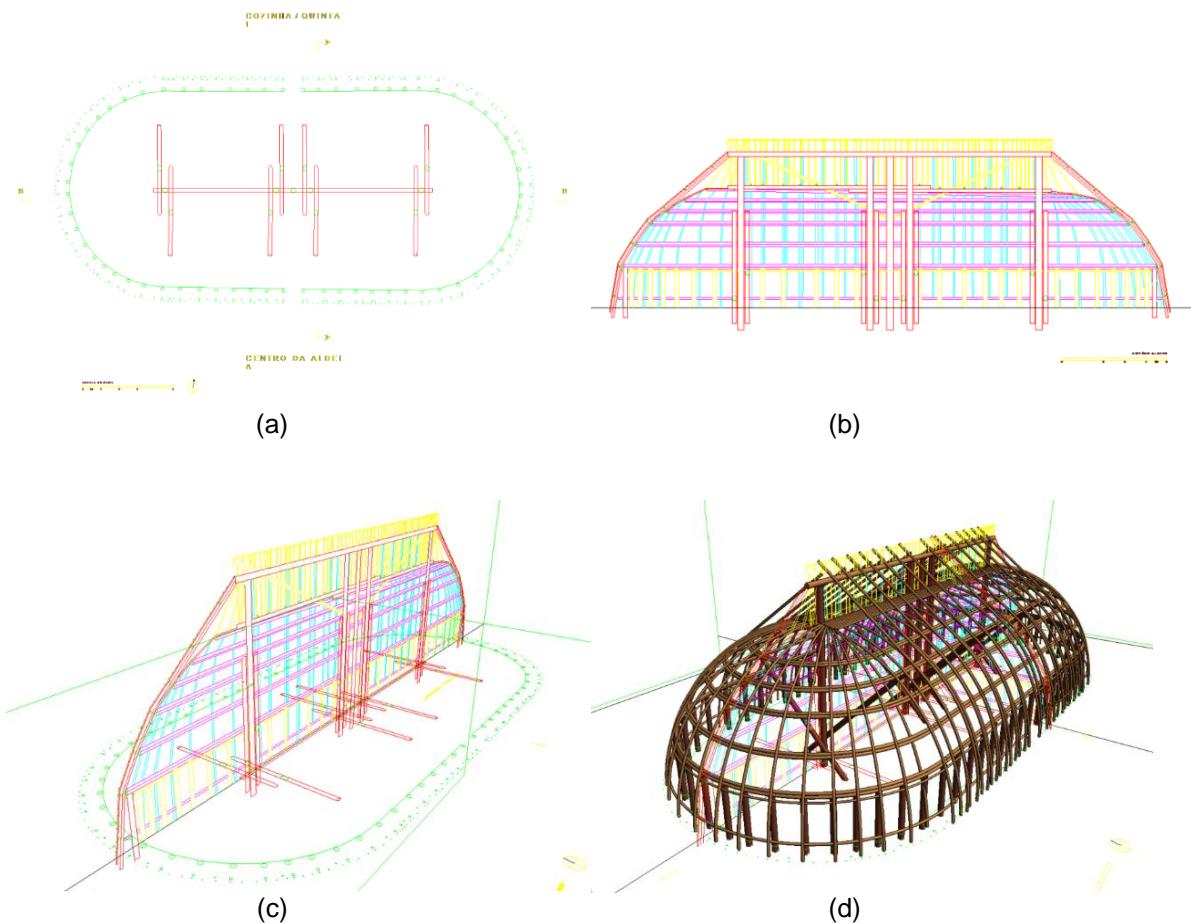
Fonte: Autor.

Segundo Portocarrero,

[...] A Hök maior possuía planta ovalada nas extremidades e um segmento central de lados paralelos, numa extensão que podia chegar a 30m de comprimento por 13m de largura, como na casa do cacique Takumān, visitada durante os trabalhos de campo na aldeia, próxima ao lago Ipavu e aqui apresentada. Nessa casa havia cinco esteios de 7 metros de altura, formando uma linha que sustentava a viga cumeeira [...] (Portocarrero, 2010, p. 139).

Os arquivos de CAD foram inseridos como vínculos no software Autodesk Revit® e orientados conforme a vista para serem usados como apoio no processo de modelagem. Os elementos foram modelados conforme sua categoria e nomeados conforme a tradição do povo Kamayurá (Figura 40).

Figura 40 — Esquema de modelagem BIM: (a) Planta Baixa DWG, (b) Corte longitudinal DWG, (c) Desenhos georreferenciados em ambiente BIM, (d) Modelo HBIM parametrizado



Fonte: Autor.

O nível de detalhe (LoD) atingido não considerou nós e amarras com geometrias complexas. O modelo HBIM gerado, por estar devidamente parametrizado e categorizado, poderá ser usado no processo de simulação do esquema construtivo a partir da linha do tempo (BIM 4D) no software Autodesk Navisworks®. Tal registro traz consigo informações e metadados não geométricos que configuram o registro e documentação em BIM tanto do patrimônio cultural material como imaterial.

5.2 CASA HATÍ – POVO HALITI-PARESÍ

Os Haliti-Paresí são um povo indígena que habita as Áreas Indígenas Capitão Marcos/Uirapuru, Estação Parecis, Estivadinho, Figueiras, Juininha, Rio Formoso, Umutina, Utariti e Reserva Indígena Pareci, no oeste do estado de Mato Grosso, no

Brasil. Esse povo possui uma antiga relação com os não-indígenas, com consequências muitas vezes devastadoras para o povo. A estreita relação com os jesuítas da Missão Anchieta por pouco não provocou a extinção de uma variação dialetal falada por alguns deles e trouxe transformações nos aspectos socioculturais deste povo. Atualmente os Paresí mostram-se preocupados em manter sua cultura, seus costumes e preocupados com a recuperação de outros aspectos que consideram importantes para a manutenção das suas práticas socioculturais, como sua arquitetura (Figura 41), tendo em vista todas as consequências sofridas ao longo da sua história com os não indígenas (Waikyohera, 2019).

Figura 41 — Casa Hatí da Aldeia Paresí Jatobá



Fonte: Reproduzido de Ecoamazonia⁹.

A Hatí (casa tradicional) do povo Haliti Paresí é essencial na cultura deste povo por ter um significado muito forte no contexto sociocultural, porque é através da Hatí que ocorrem os rituais, as crenças, as festas tradicionais da menina moça, do batismo, a pajelança, o ritual de sepultamento, cântico ceremonial, as rezas, atos de benzer, contação ou narração de histórias, organização social, o casamento e outros elementos que estão diretamente vinculados a Hatí (Nazokemai, 2021, p. 78).

⁹ Disponível em: <https://www.ecoamazonia.org.br/2021/08/terceira-margem-parte-cclxxiii/>.

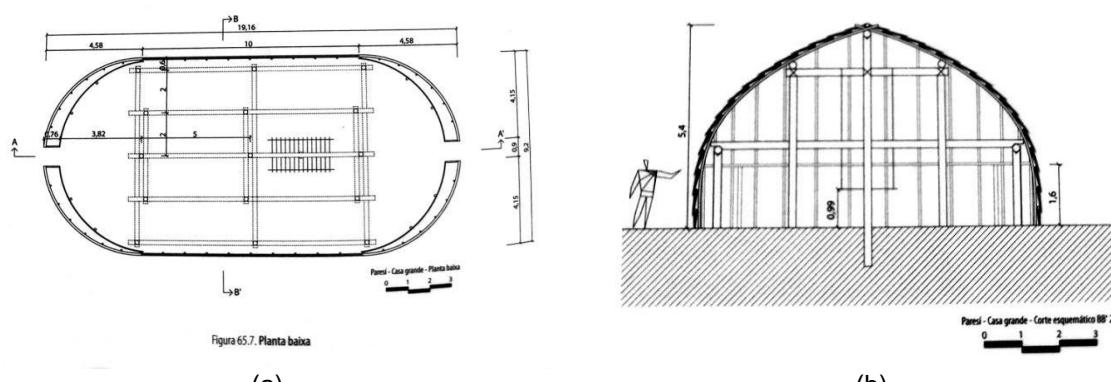
Segundo o plano de gestão elaborado pelo povo Haliti-Paresí (Waikyohera, 2019), as formas de uso e ocupação dos diferentes espaços do território Paresí estão ligadas ao tipo de vegetação presente em cada ambiente e a disponibilidade para uso como matéria prima na construção. As madeiras utilizadas para construções são extraídas de áreas de matas altas chamadas *kolohokoni*, geralmente localizadas nas margens dos rios (Waikyohera, 2019).

A rica biodiversidade das terras indígenas do povo é conhecida em detalhe pelo povo Haliti, que explora suas diferentes potencialidades ambientais e construtivas, como descreve Portocarrero (2018) sobre a aplicação de técnicas construtivas com terra de formigueiro batida para o acabamento interno dos pisos das casas, de textura lisa e alta resistência.

Segundo Portocarrero (2018), as casas Haliti apresentam uma solução estrutural topológica do tipo parede cobertura, bastante simplificada pela disposição dos elementos estruturais horizontais (ripas) diretamente sobre os elementos estruturais verticais curvos (Figura 42b), sem necessidade de reforços adicionais. Esta estabilidade e racionalidade estrutural se dão devido a uma relação formal equilibrada entre pé-direito, largura e comprimento. Diferente das casas alto-xinguanas, os acessos da casa Hatí estão localizados nos extremos da planta ovalada (Portocarrero, 2018).

Os levantamentos métricos transmitidos para desenhos técnicos conferidos (Figura 42), presentes no livro “Tecnologia indígena em Mato Grosso” do Prof. José Portocarrero (Portocarrero, 2018), foram usadas como fontes de dados métricos para a modelagem HBIM da estrutura da casa Haliti.

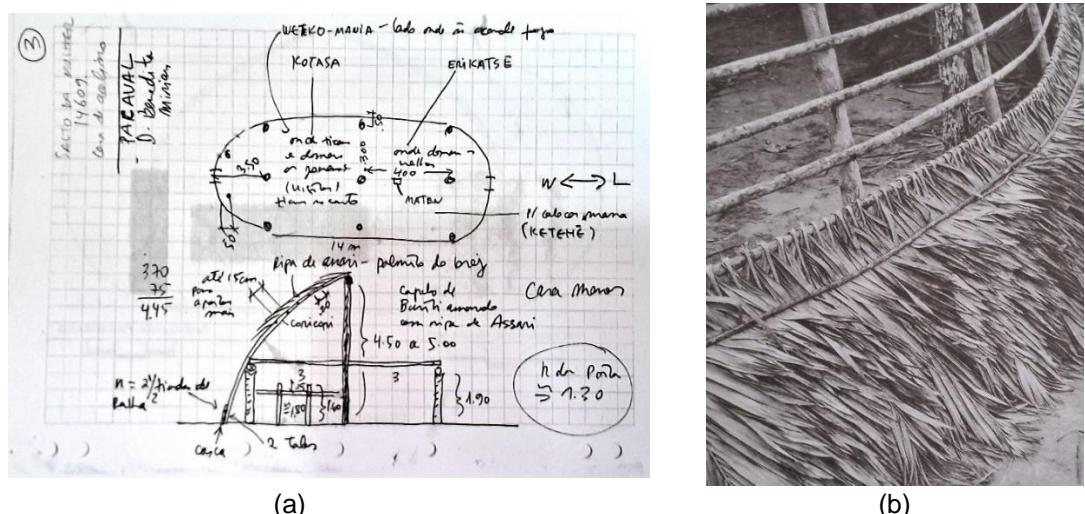
Figura 42 — Peças Gráficas da casa Hatí: (a) Planta Baixa, (b) Corte transversal esquemático



Fonte: Reproduzido de Portocarrero (2018, p. 167).

Assim como mostrado anteriormente, dados provenientes de fontes secundárias também podem servir como fonte de dados para a modelagem HBIM. Dessa forma, diferentes tipos de dados etnográficos construtivos presentes no livro, como croquis e fotografias de detalhes, também foram usados como dados gráficos no suporte à modelagem da estrutura (Figura 43).

Figura 43 — Dados etnográficos de fontes secundárias: (a) Croquis não verificados, (b) Fotografia



Fonte: Reproduzido de Portocarrero (2018, p. 167).

A organização dos dados na modelagem dos três edifícios indígenas diferentes seguiu a estruturação dos módulos do sistema SICG proposto pelo IPHAN: conhecimento (dados gerais sobre o imóvel) e cadastro (informações históricas e físicas do imóvel).

O módulo de gestão refere-se às áreas já protegidas, o que não se aplica aos objetos de estudo neste momento na pesquisa. Nesse sentido, a construção do modelo paramétrico segue a estrutura de inventariação do IPHAN, o que pretende alinhar as metodologias durante o processo de registro que permitam aprofundamentos analíticos que conduzam à salvaguarda e à gestão da arquitetura indígena brasileira.

O processo de modelagem da casa Hatí foi desenvolvido no software Revit a partir da inserção de desenhos técnicos como imagens raster orientadas às vistas em plano e corte para servirem como base para a modelagem. Os elementos construtivos foram categorizados segundo a ontologia presente no programa. Nesse caso também não foi possível categorizar semanticamente segundo a lógica do programa os elementos estruturais curvos de múltipla função pilar/viga (Figura 44).

Figura 44 — Modelo HBIM da casa Hatí – Povo Paresí



Fonte: Autor.

5.3 CASA RÍ – POVO A'UWĒ XAVANTE

O povo Xavante, autointitulado A'uwe Uptabi (Povo Autêntico) está localizado no estado do Mato Grosso e teve seu contato com os não-indígenas somente em meados da década de 1940, resultado da extensa campanha que o Estado Novo lançou para divulgar a “Marcha para o Oeste” (Lopes, 1992; Silva, 2006).

As consequências do contato e da forma como este se deu influenciaram o modo de vida Xavante de diversas maneiras, desde crenças e práticas religiosas até o modo de ocupar o espaço e a arquitetura. A casa tradicional Xavante (Figura 45), unifamiliar e de planta circular, vem sendo substituída por casas de planta quadrada e cobertura em duas águas (Lopes, 1992; Sá, 1982; Silva, 2006; Tavares, 2020).

Figura 45 — Casa Rí - Povo Xavante



Fonte: Reproduzido de Instituto Socioambiental¹⁰.

Mesmo com esses impactos, a cultura Xavante continua a se manifestar com muita vitalidade. Permanece vivo o seu modo de transmissão dos conhecimentos de geração em geração por meio da língua e de inúmeros mecanismos sociais, cosmológicos e ceremoniais.

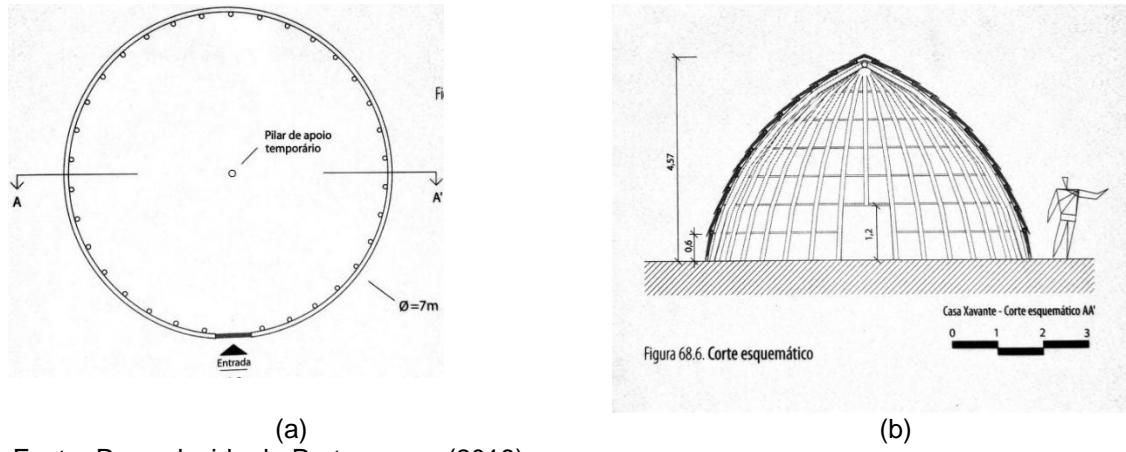
Como bem descreve Silva (2006), a casa A'uwe, originalmente, é formada por uma estrutura de madeira circular e é recoberta de folhas de palmeira ao redor, mas atualmente é possível ver casas cercadas com folha de zinco. No seu trabalho de nome “A organização espacial A'uwe Xavante: Um olhar qualitativo sobre o espaço”, o autor mostra que no trabalho de construção da casa doméstica participam homens e mulheres. A tarefa de tirar a madeira e fazer a armação estrutural são trabalhos de responsabilidade masculina; já os trabalhos de posicionamento dos elementos estruturais, a furação dos buracos e cobertura são de responsabilidade das mulheres. Para o autor, trata-se de um trabalho feito em conjunto, com as responsabilidades bem definidas socialmente.

Para Santos (2014), a habitação Xavante, é bastante simples do ponto de vista construtivo. Sua estrutura é formada por varas cravadas no chão igualmente espaçadas entre si, formando um círculo com diâmetro de 5 a 6 metros (Figura 46).

¹⁰ Disponível em: <https://pib.socioambiental.org/pt/Povo:Xavante>.

As varas são envergadas e amarradas no centro do círculo, resultando em uma forma que recorda a cúpula ogival (Santos, 2014).

Figura 46 — Peças Gráficas Casa Xavante: (a) Planta Baixa (b) Corte arquitetônico casa Rí



Fonte: Reproduzido de Portocarrero (2018).

Santos (2014) defende que essa arquitetura Xavante atende muito bem seu propósito ou, como se diz em arquitetura, ela cumpre o seu programa. E cumpre suficientemente bem, pois o modelo é desenvolvido por meio de um secular processo de erros e acertos, numa longa duração histórica, e cada problema é equacionado até que sua solução atinja um nível de resposta aceitável.

Figura 47 — Modelo HBIM paramétrico da casa Rí - Povo Xavante



Fonte: Autor.

Para os xavantes, existe uma diferença profunda entre a casa tradicional e a nova, que se expressa até verbalmente: quando falam português, é usual que se refiram a casa tradicional em língua xavante, chamando-a *Rí*, embora esse termo não seja usado para indicar a casa nova, isto é, a que não segue mais

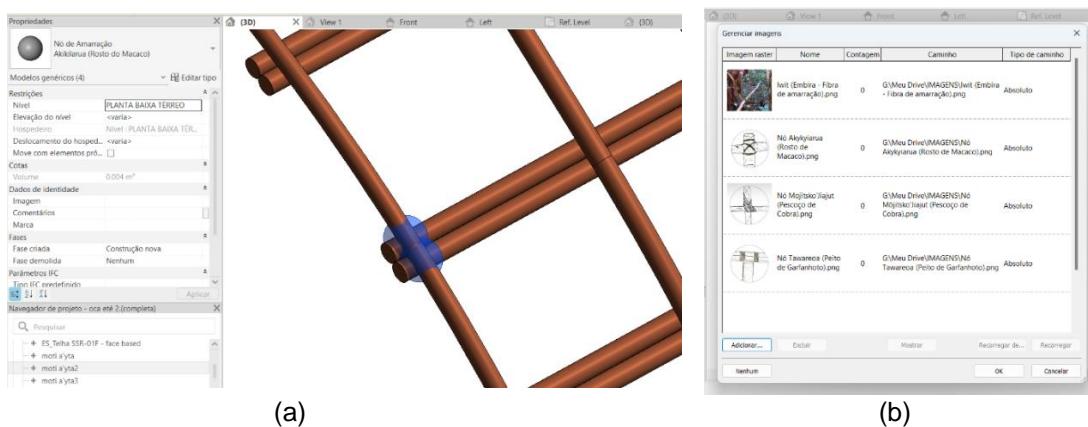
os padrões tradicionais. Às vezes, reforçam ainda mais essa diferenciação, referindo-se a *Rí* como *Rí-Uptabi*, casa de verdade (Sá, 1981, p. 161).

5.4 RESULTADOS

O motivo da escolha dos povos aqui estudados se deu por dois principais fatores. O primeiro relaciona-se à diferença entre as tipologias estruturais, formada por estruturas aporticadas e arcos ogivais, estrutura extensivamente utilizada no curso da história. O segundo diz respeito ao acesso aos materiais utilizado como fonte de dados para as modelagens.

A tradução de dados etnográficos em um modelo HBIM foca na modelagem e categorização semântica de elementos estruturais da casa *Rí* (camadas da casca) e na modelagem de conexões estruturais (nós e amarras). Devido ao fato de esse primeiro estudo de caso não fazer uso de ferramentas digitais de captura de imagens e dados como *Drone and Laser Scanner* (fontes primárias), informações sobre elementos de geometria mais complexa como os tipos de nós e conexão foram inseridas como metadados com base em desenhos, fotos, vídeos e descrições textuais existentes (Figura 48).

Figura 48 — Relação entre bens materiais e imateriais do patrimônio indígena e os dados semânticos no software Autodesk Revit® - (a) Família de nós no Revit (b) Parâmetros (metadados etnográficos) atribuídos a família de conexões estruturais no software Autodesk Revit

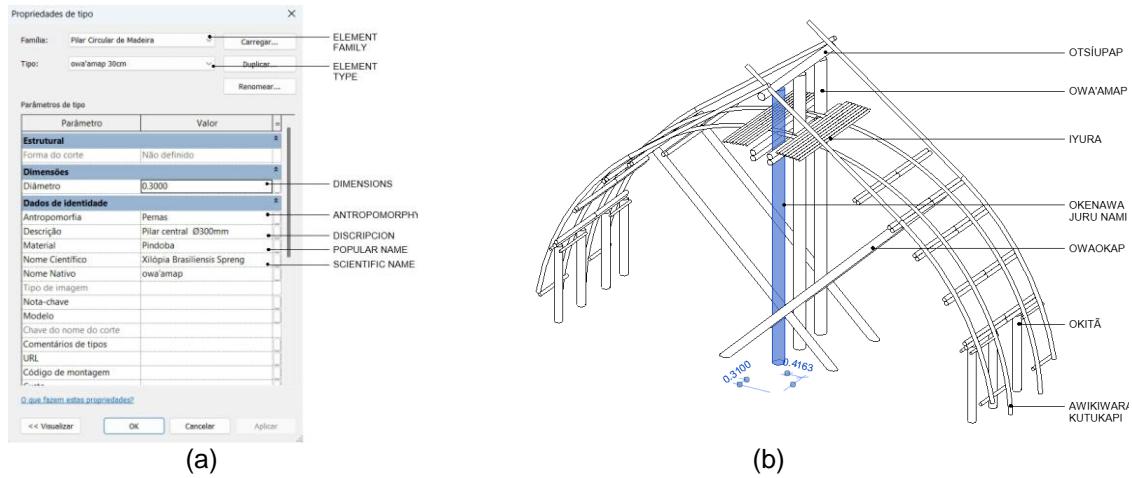


Fonte: Autor.

Todos os elementos estruturais e construtivos foram modelados e parametrizados, tanto com dados geométricos (material, dimensão, volume) quanto com dados não geométricos e dados semânticos, ou seja, informações pertinentes às singularidades de cada cultura como: 1) nome no idioma de origem; 2) dimensões relativas à escala humana; 3) relação antropomórfica (o ser-casa); 4) tipos de

madeiras e seus significados e outros signos importantes que possam ser atribuídos a esses elementos dentro da cosmovisão indígena (Figura 49).

Figura 49 — Relação entre bens materiais e imateriais do patrimônio indígena e os dados semânticos no software Autodesk Revit®



Fonte: Autor.

Nota: (a) Dados semânticos atribuídos aos elementos estruturais; (b) seção do modelo HBIM com os nomes dos elementos estruturais de acordo com a língua Kamayurá no software Autodesk Revit®.

Para analisar as diferenças presentes nessas tipologias e suas implicações no comportamento estrutural, foram modeladas três edificações de diferentes etnias, Kamayurá, Paresí e Xavante (Figura 50):

Figura 50 — Estudo de caso 1: Modelagem por fontes secundárias



Modelo HBIM explodido (casas vernaculares/indígenas)
Fonte para modelagem: fontes secundárias (desenhos, fotos, vídeos e descrições textuais existentes)

Parâmetros: dados geométricos, não geométricos, semânticos e etnográficos

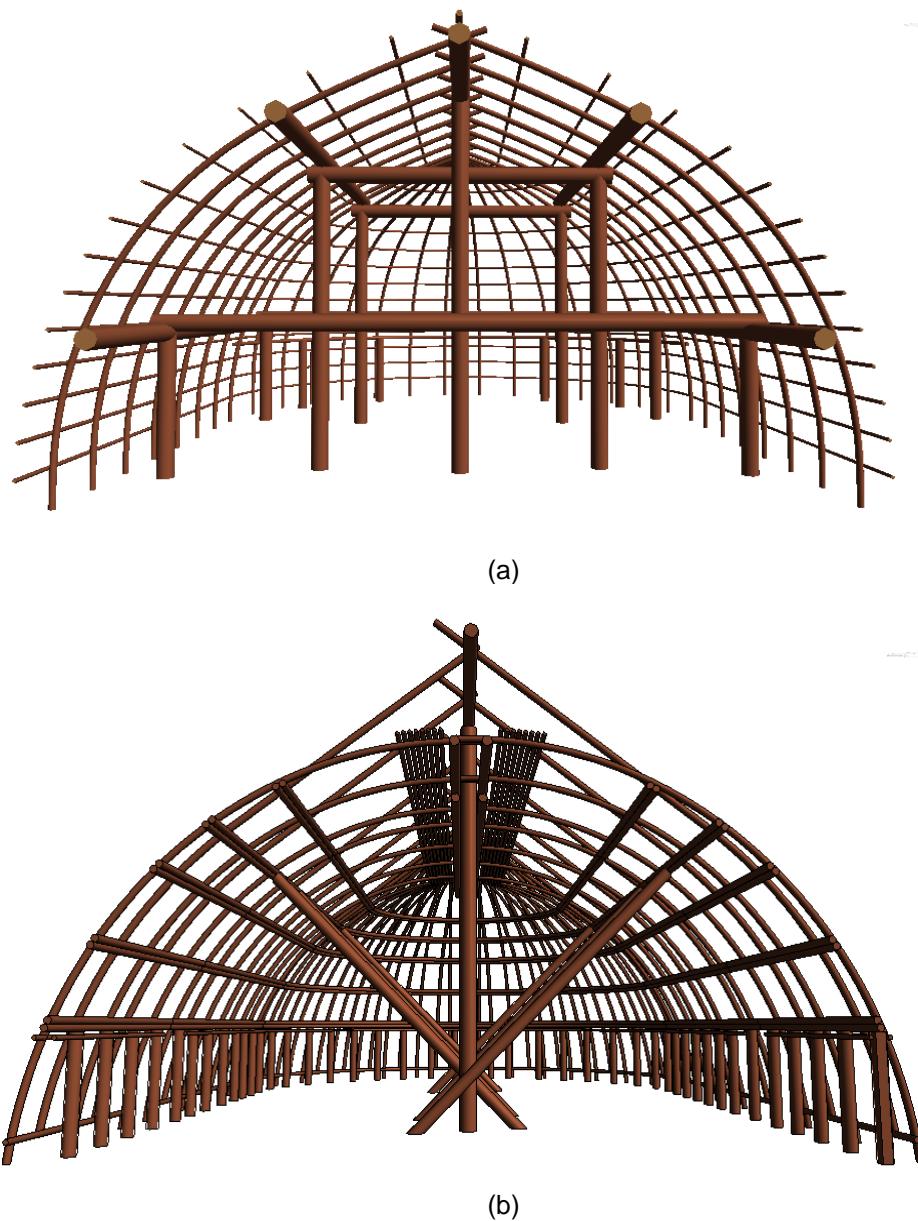
Data: 2024

Autor: Pedro Praia

Fonte: Elaborado por Pedro Praia e Chandra Viegas.

As estruturas foram modeladas no software Autodesk Revit, a partir de fontes de dados secundárias com desenhos técnicos bidimensionais como base. A modelagem mostrou que duas dessas são semelhantes do ponto de vista formal, porém com soluções estruturais diferentes entre si, a casa Hök Kamayurá e a casa Hatí Paresí (Figura 51).

Figura 51 — Diferentes soluções estruturais: (a) Casa Hatí Paresí (b) Casa Hök Kamayurá



Fonte: Autor

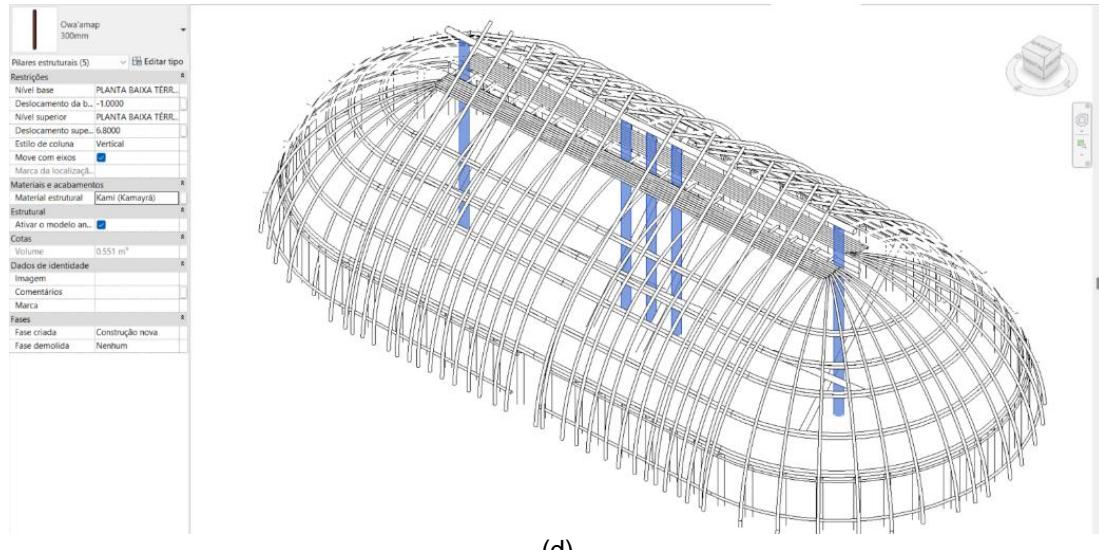
Os elementos estruturais verticais foram modelados como famílias de sistema na categoria pilares estruturais. Conforme comentado anteriormente, devido à ausência de uma categoria que enquadre os elementos estruturais topológicos com dupla função (pilar/viga) da arquitetura indígena, os elementos curvos de geometria mais complexa foram modelados como família no local a partir dos cortes e plantas em DWG utilizados como base para a modelagem.

No caso da Casa Hök do povo Kamayurá, as informações acerca das madeiras usadas em cada parte e suas respectivas espécies possibilitaram a parametrização desses dados no modelo como forma de registro desse conhecimento, além de trazer dados importantes aos processos de análise do comportamento estrutural dessas edificações.

A madeira usada na construção dos *oke'awap* (pilares centrais de apoio), por exemplo, recebe o nome de *kami* na língua Kamayurá e está documentada no modelo HBIM com a possibilidade da inserção de outros metadados etnográficos como a lua certa da colheita ou o estágio certo de crescimento das árvores a serem colhidas, por exemplo (Figura 52).

Figura 52 — Parâmetros de família do software Revit®: Propriedades Físicas do material (a). Imagens sobre a colheita, dados não gráficos (b). Tipo de espécie utilizada, dados não gráficos (c). Modelo HBIM contendo os elementos estruturais nomeados segundo a língua Kamayurá



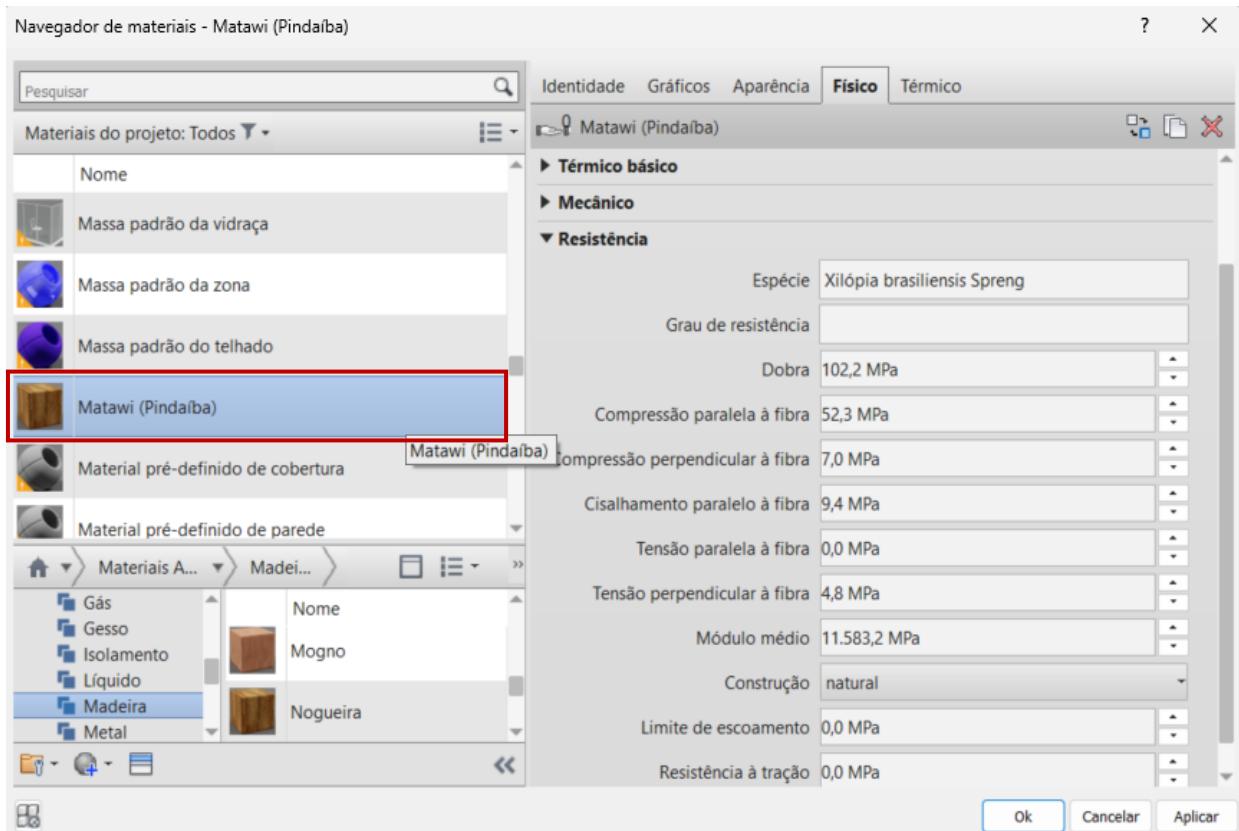


(d)

Fonte: Autor.

Já para os elementos verticais curvos da casa Hök, de nome *Matawi*, o Manual de Arquitetura Kamayurá (2019) mostra que a madeira usada para garantir o desempenho flexível necessário é a Pindaíba (*Xilópia Brasiliensis*), chamada também de *Matawi* na língua Kamayurá. Essas informações foram inseridas em forma de parâmetro de material, usado em cada elemento estrutural no software Revit, o que torna possível a inserção de parâmetros como as propriedades físicas e mecânicas dessa madeira (Figura 53), além de aspectos visuais como cor e textura para possibilitar a visualização através de tecnologias como realidade virtual (VR) e realidade aumentada (AR) para a utilização do modelo HBIM como parte do patrimônio cultural virtual.

Figura 53 — Parâmetros de material e propriedades físicas da madeira usada



Fonte: Autor.

Portocarrero (2018) mostra, por exemplo, que, no caso dos Xavante, apesar de os estudos antigos, como de Sá (1981), não entrarem no mérito das espécies de madeira usadas na construção da casa Rí, esses estudos alertam para a necessidade de serem madeiras colhidas ainda no estágio jovem de crescimento para garantir flexibilidade na estrutura.

Todos esses dados entram como metadados no modelo HBIM, enriquecendo-o de informações não geométricas e garantindo a salvaguarda desses conhecimentos. Os elementos foram parametrizados e podem receber metadados, como o nome e o seu respectivo significado para a cultura. Foram nomeados segundo a língua de cada nação, assim como as principais espécies de madeira utilizadas em cada parte da estrutura. Tais informações agregadas ao modelo BIM configuram o registro e documentação de patrimônio cultural imaterial, metadados que uma vez inseridos no modelo BIM ficam registrados em sua base de dados.

6 ESTUDO DE CASO 2: MODELAGEM POR FONTES PRIMÁRIAS

O segundo estudo de caso desta pesquisa tem o intuito de investigar o processo de modelagem de edificações tradicionais do povo A'uwe Xavante por meio do uso de fontes de dados primárias, ou seja, dados utilizados para a modelagem adquiridos por meio de aerofotogrametria em campo e processamento das imagens em informações espaciais tridimensionais.

6.1 A'UWĒ UPTABI: O POVO DE VERDADE

A história do povo A'uwe Xavante é marcada por diferentes episódios de migrações contínuas, conflitos e resistência ao longo do tempo. A tradição oral Xavante conta que seus primeiros contatos com não indígenas ocorreram em terras situadas “junto ao mar”. Segundo Lopes (1992), não é possível indicar com precisão a época e o local onde esse contato teria acontecido. Os estudos mais antigos em que são mencionados os Xavantes datam da segunda metade do século XVIII e referenciam-se à então província de Goiás, no Brasil Central.

Após conviver por um período com “não indígenas” ao longo do século XVIII, passam a negar o contato ao final do século XIX, afastando-se das regiões colonizadas de Goiás e migrando em direção oeste, em busca de refúgio seguro. Instalam-se então na região da Serra do Roncador, às margens do Rio das Mortes, no coração do que é hoje o estado do Mato Grosso, em região pertencente à Amazônia Legal.

Mesmo com todo o ímpeto de tentar se isolar dos malefícios trazidos pela colonização, foram novamente alcançados, já na década de 1940 do século XX., pela equipe do indigenista Francisco Meirelles (Lopes, 1992). Porém, nesse período, já não havia mais refúgios nos campos cerrados, bioma típico em que costumavam viver os Xavantes antes do contato e que vivem até hoje.

Já nas décadas de 1970 e 1980, sofreram, por parte do órgão governamental encarregado das populações indígenas, interferências decisivas em seu destino. Em 1977, a Fundação Nacional do Índio (Funai) põe em prática o chamado “Plano de Desenvolvimento da Nação Xavante” ou simplesmente “Projeto Xavante”, como ficou conhecido.

O resultado desse processo foi catastrófico para o povo A'uwe Xavante, com total falta de assistência por parte do Governo Federal, abalo de certos aspectos da vida tradicional e da autonomia econômica e política, acirramento das cisões internas e fragmentação das unidades políticas.

A triste história de despossessão, remoção e tentativa de apagamento da existência do povo Xavante está detalhadamente descrita no livro de Paulo Tavares, referência sobre o tema, intitulado “Memória da terra: Arqueologias e ancestralidade e da despossessão do povo Xavante de Maräiwatsédé” (Tavares, 2020).

Nessa pesquisa, realizada junto ao Ministério Público, Tavares mostra que, de acordo com o Relatório Final da Comissão Nacional da Verdade, foram cometidas diversas violações de direitos pelo Estado contra povos indígenas em todo o período investigado (1946-1988), principalmente durante o regime militar (1964-1984). Tavares (2020, p.223) mostra que, segundo a Comissão da Verdade¹¹, “[...] tais violações eram sistêmicas, resultado de ações que tinham por objetivo produzir vazios demográficos [...]” e é definida pelo autor como política de apagamento.

Como efeito dessa política de apagamento, tem-se a destruição de valiosos bens culturais do patrimônio material e imaterial indígena. Um dos aspectos mais afetados na cultura tradicional do povo Xavante nesse processo diz respeito a sua arquitetura. As práticas tradicionais de construção e interação com o espaço e todo o patrimônio arquitetônico dos Xavantes encontram-se abalados pelo processo de colonialidade em curso até os dias atuais. De acordo com Sá (1982), um dos primeiros elementos da cultura a ser abandonado foi a técnica construtiva ancestral xavante com suas edificações de planta circular (Sá, 1982).

A negação da existência ancestral indígena nessa região e, por consequência, a negação dos direitos territoriais dessas comunidades, ato que também significa expropriar-lhes a história e a memória, constituem uma forma de perpetuar a política do apagamento por outros meios (Tavares, 2020, p. 21).

O extenso trabalho acerca da revisão da literatura sobre o objeto desta pesquisa possibilitou a redescoberta de um importante trabalho sobre a arquitetura

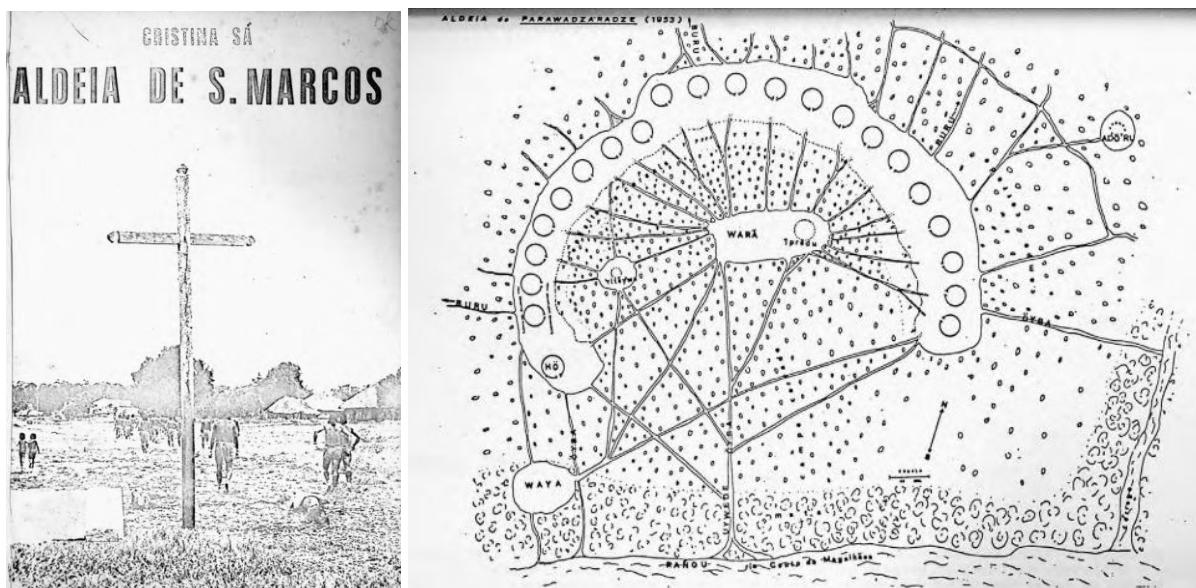
¹¹ Comissão Nacional da Verdade (CNV), instituída pela Lei nº 12.528/2011, com funcionamento entre 2012 e 2014. Tinha como objetivo investigar crimes cometidos por agentes do Estado durante a ditadura militar (1964-1985).

indígena dos povos xavantes, trabalho frequentemente citado em estudos referência sobre o tema da arquitetura indígena.

Trata-se da dissertação de mestrado da arquiteta Cristina Sá (Figura 54), desenvolvida no ano de 1982 e intitulada “Aldeia S. Marcos”. Nessa pesquisa, Sá (1982) analisa as relações entre o processo de transformação da habitação e o de transformação sociocultural na aldeia indígena xavante de São Marcos, na terra indígena Xavante de São Marcos, no Brasil Central, onde esses dois processos ocorrem paralelamente à progressiva inserção da comunidade dessa aldeia no que a autora chama de sociedade nacional envolvente (Sá, 1982).

O período estudado vai de 1958, ano da fundação de São Marcos, até 1981, e os principais elementos de análise são a forma, a tecnologia (incluindo materiais e métodos construtivos) e a organização do espaço, considerada como diretamente vinculada à organização sociocultural e a uma visão de mundo específica. O trabalho foca no processo de transformação da habitação e o de transformação sociocultural.

Figura 54 — Dissertação de mestrado de Cristina Sá "Aldeia de S. Marcos": (a) Capa. (b) Ilustração mostrando a organização espacial entre rios da aldeia de Parawadz'radze



Fonte: Reproduzido de Sá (1982).

Em sua pesquisa, Sá (1982) mostra que a habitação é, para a sociedade Xavante, parte de um todo cultural coerente do qual não pode ser desvinculada sem o empobrecimento desse todo e o esvaziamento de seu próprio significado.

A pesquisa (Sá, 1982) mostra que, mais do que a forma e a tecnologia construtiva, a organização do espaço se mostra como um parâmetro de grande importância no entendimento da arquitetura xavante, por se relacionar diretamente à

organização sociocultural desse povo, assim como a linguagem, por se tratar de uma expressão simbólica de um comportamento tipicamente humano e se relacionar com uma cosmovisão específica, isto é, com a maneira particular pela qual uma sociedade organiza seu universo próprio, se entende e se posiciona dentro dele.

Teóricos da arquitetura de diferentes tempos, desde a Renascença até a atualidade, definem a casa como elemento gerador de toda arquitetura, e, além da função de abrigo, a habitação está carregada de símbolos e significados. Para muitas sociedades indígenas esses símbolos carregam funções que vão além da estética. As variações existentes na habitação de uma sociedade indígena para outra ou em momentos diferentes de uma mesma sociedade não podem ser atribuídos apenas à diversidade de fatores condicionantes tais como ambientais, tecnológicos, funcionais ou econômicos.

A adoção de um padrão de habitação por uma sociedade indígena implica sempre em escolhas dentre inúmeras possibilidades que não se limitam apenas ao plano material da existência e que têm como base a importância da relação desse padrão com todo o contexto sociocultural dentro da cosmovisão da sociedade na qual está inserido (Sá, 1982).

Assim como mostrou Melatti e Melatti (1986), no estudo “A maloca Marúbo: Organização do espaço”, as diversas formas do uso da palha de jarina nas coberturas da arquitetura tradicional Marúbo, que produzem diferentes desenhos, cada qual com um nome, estão sempre associados a uma determinada linhagem matrilinear (Melatti; Melatti, 1986).

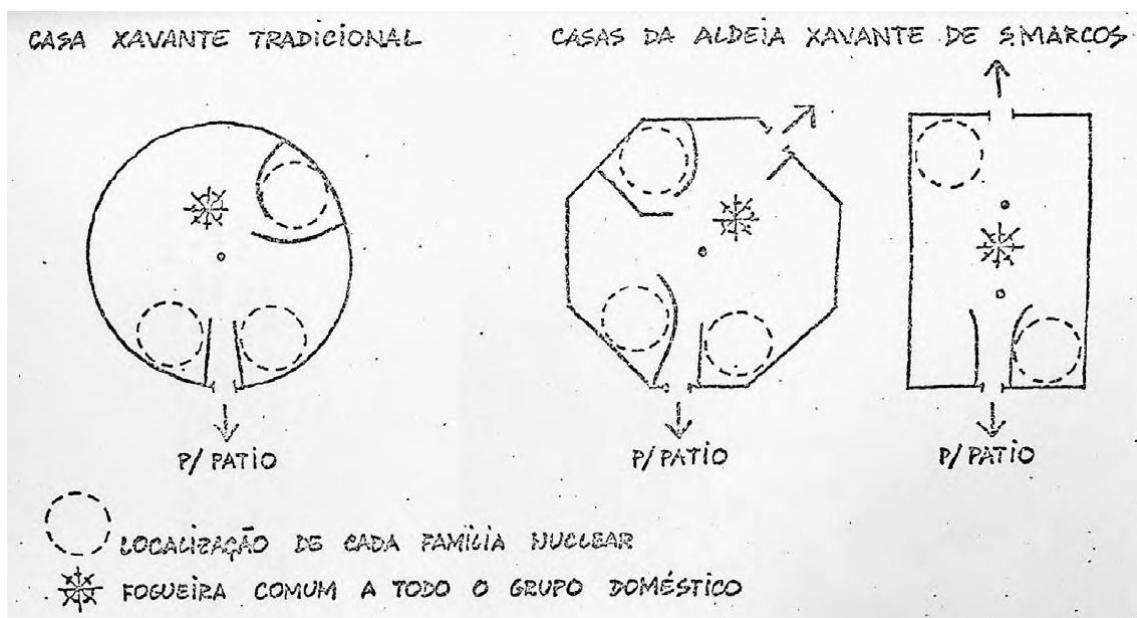
A forma e a tecnologia são temas importantes no estudo da habitação indígena e algumas vezes até mesmo os únicos elementos disponíveis, tal como no caso da tentativa de reconstituição de arquiteturas tradicionais de sociedades já extintas ou que sofreram um longo e intenso processo de mudança cultural. Porém, deve-se levar em conta também a existência de outros parâmetros, por vezes de natureza imaterial, e que estão diretamente ligados ao processo de concepção arquitetônica e organização espacial da habitação dos povos indígenas.

Assim como na pesquisa de Sá (1982), o presente estudo entende a palavra “habitação” em um sentido amplo, englobando tanto a unidade habitacional, quanto o conjunto de habitações - acampamento, casa e aldeia. A organização espacial do povo A’uwẽ é essencial para se compreender a forma tradicional desse povo. Para Sá

(1982), o território onde está localizada a aldeia pode ser considerado como o elemento mais estável do espaço tradicionalmente vivenciado pelos A'uwe Xavante (Sá, 1982).

Segundo Oliver (1978, *apud* Sá, 1982), assim como o significado simbólico dos elementos construtivos de seus edifícios, o significado das disposições destes são fundamentais na relação estabelecida por diversas sociedades com o mundo da experiência interior e consciente. Todas essas tradições longamente conservadas, inclusive aquelas relativas à habitação, são, para Sá (1982), bruscamente rompidas sempre que uma sociedade indígena entra em contato com a sociedade dita "civilizada". Um processo cumulativo de pequenas alterações começa a agir sobre a habitação, provocando alterações sensíveis em intervalos de tempo que variam conforme a nação indígena, o segmento representativo da sociedade envolvente e o tipo de contato estabelecido (Figura 55).

Figura 55 — Esquema de organização espacial da casa Rí Uptabi e casas modificadas na Aldeia São Marcos



Fonte: Reproduzido de Sá (1982).

Para Sá (1982), essas modificações tendem a aumentar sempre, levando a soluções intermediárias, ligações entre a tradição e a inovação e até mesmo ao surgimento de novos padrões de habitação, perdendo-se muitas vezes bens culturais valiosos como práticas construtivas e soluções arquitetônicas ancestrais.

Uma das principais formas de dominação dentro do processo colonizatório é a imposição cultural e o apagamento das memórias dos povos colonizados. A

substituição da arquitetura tradicional de um povo por uma arquitetura da colonialidade afeta emocional e fisicamente cada membro do grupo por meio da ruptura de seu entendimento no mundo a partir da compreensão do espaço construído onde habita. (Lopes, 1992; Sá, 1982)

A documentação e salvaguarda da arquitetura indígena brasileira mostra-se de extrema importância no processo de descolonização da arquitetura. Colonizar tem a ver com permanência e, para uma técnica arquitetônica colonizadora permanecer, uma técnica colonizada deve passar por um processo de apagamento de memórias. A colonialidade representa a permanência desse processo de apagamento até os dias atuais.

A constante situação de ameaça que vivem os povos originários no Brasil traz à tona a urgente necessidade de preservação de suas culturas e saberes, como forma de proteção e perpetuação da existência desses povos.

Entende-se por colonialismo o período histórico derivado do processo de expansão territorial de países europeus e marcado pelas grandes navegações e descoberta, para esses povos, do chamado “novo mundo”. Contudo, esse processo configurou a dominação de determinados países sobre outros, mais precisamente, o domínio das metrópoles sobre as colônias, estabelecendo uma relação de superioridade dos povos colonizadores. (Assis, 2014)

De acordo com o Assis (2014), o colonialismo foi peça fundamental para o projeto cultural de expansão do Capitalismo e que teve início no ocidente, especificamente, no continente europeu. Esse cenário marcou o início da Modernidade, um processo histórico orientado por diversas perspectivas dominantes.

Para Ballestrin (2013), a colonialidade é a continuidade da propagação do pensamento colonial e que pode ser definida como o lado obscuro e necessário da Modernidade, ou seja, o modo dominante de controle de recursos naturais, força de trabalho, capital, cultura e conhecimento por meio de uma relação de poder articulada pela lógica capitalista (Ballestrin, 2013).

Logo, ainda que o colonialismo tenha sido superado, a colonialidade continua presente nas mais diversas formas, nos discursos reproduzidos cotidianamente em nossa sociedade e, sobretudo, influenciando e modificando o modo de morar, construir e interagir com o espaço dos povos e nações afetados por todo esse processo.

O teórico da arquitetura Marc-Antoine Laugier, sob uma perspectiva eurocêntrica, desde a renascença até os dias atuais, defende que a arquitetura tem origem na casa dita “primitiva” dos povos originários. Laugier, em seu “*Essai sur l’Architecture*”, de 1755, sugere que toda a arquitetura tem sua origem na “cabana primitiva”. Esta forma de categorização já sugere uma hierarquia colonizadora, contribuindo com a criação da ideia de primitivo como pouco evoluído.

Essa ideia de um surgimento único e verdadeiro da arquitetura embasou, séculos depois de Laugier (1755), a construção de um sentido de universalidade da casa, como definiu Bonfante e Helene (2022), consagrando-a como ideal modernista, reforçando a ideologia ontológica colonialista de divisão entre povos primitivos (pré-modernos) e povos civilizados (modernos) e reafirmando um paradigma de evolução da arquitetura e da habitação em que o resultado mais “avançado” seria o alcançado pelos modernistas, a máquina de morar de Corbusier (Bonfante; Helene, 2022).

O ideal modernista da universalidade arquitetônica, por meio da padronização e produção em massa, reforçou a criação da unidade habitacional dita adequada a qualquer família, independentemente da cultura, espaço e recursos naturais, contribuindo para o apagamento de técnicas e tradições construtivas ancestrais de culturas dominadas pelo processo colonial capitalista da modernidade, a colonialidade.

Uma das principais formas de dominação dentro do processo colonizatório é a imposição cultural e o apagamento das memórias dos povos colonizados. A substituição da arquitetura tradicional de um povo por uma arquitetura da colonialidade resulta na ruptura de seu entendimento no mundo a partir da compreensão do espaço construído onde se habita. A documentação e salvaguarda da arquitetura indígena brasileira mostra-se de extrema importância no processo de preservação e aplicação desses saberes e tecnologias ancestrais (Bialostocka, 2021; Bonfante; Helene, 2022; Salles; Feitosa; Lacerda, 2019).

O conceito de decolonialidade surge como uma proposta para enfrentar a colonialidade e o pensamento moderno, principalmente por meio dos estudos do grupo Modernidade, Colonialidade e Decolonialidade (MCD), composto por estudiosos como Quijano (2005) e Walsh (2005).

Uma das bases da decolonialidade é o questionamento à centralidade do pensamento hegemônico eurocêntrico (modernismo, pós-modernismo, teoria crítica,

estudos pós-coloniais) por meio de uma crítica aos postulados de matriz eurocêntrica propondo o desafio de pensar pelo espectro de outros sujeitos, de outros lugares (físicos e mentais) e outras cosmovisões.

Para Katherine Walsh, uma das criadoras do conceito de decolonialidade, a matriz de dominação tem suas bases no poder dos corpos e dos espaços, baseado no racismo e no colonialismo (usurpação do território pela violência e delimitação de propriedade). Walsh (2005) questiona os neomarxistas (ecossocialismo) e os limites do pós-modernismo ancorados na centralidade eurocêntrica. Em seu trabalho, Walsh (2009) propõe decolonizar a produção intelectual ao adicionar a contribuição dos movimentos sociais, sobretudo os movimentos indígenas e afrodescendentes. O pensamento decolonial implica relacionar a teoria-prática com histórias locais de vida e perspectivas de luta dos povos colonizados. Implica também ressignificar formas de viver e pensar sob a força criativa de resistência e re-existência, em uma desvinculação da matriz colonial de poder, dos seus ideais de civilização moderna ocidental e do capitalismo global (Walsh, 2005, 2009).

O conceito de decolonialidade está ligado a argumentos e lutas por dignidade e vida contra o apagamento, a destruição cultural e a morte dos povos vítimas desse processo. Para Ballestrin (2013), pode ser definido como um projeto de libertação social, político, cultural e econômico que visa dar respeito e autonomia não só aos indivíduos mas também aos grupos e movimentos sociais em defesa contra todas as formas de opressão. Portanto, esta pesquisa entende a decolonialidade como um caminho para resistir e desconstruir padrões, conceitos e perspectivas impostos aos povos originários, colonizados e subjugados durante todos esses anos, sendo também uma crítica direta à modernidade e ao capitalismo.

Nesse sentido, a presente pesquisa propõe uma abordagem decolonial na medida em que apoia a documentação e salvaguarda dos saberes tradicionais do povo A'uwe Xavante, tão massacrado e violentado ao longo dos séculos, pela já mencionada política de apagamento, da qual é vítima. Assim, esta pesquisa contribui para a valorização da arquitetura indígena brasileira, da identidade cultural indígena e do orgulho cultural indígena, constantemente ameaçados pela colonialidade.

Este estudo argumenta ainda a importância da preservação e salvaguarda dos processos e técnicas de construção como valiosos conhecimentos intangíveis que compõem o patrimônio imaterial e que estão desaparecendo diante da violência

sofrida pelos povos indígenas. Esta pesquisa traz uma perspectiva decolonial à documentação patrimonial ao propor o uso do HBIM – uma metodologia ocidental contemporânea de documentação patrimonial, desenvolvida inicialmente para documentar o patrimônio arquitetônico clássico, colonial e moderno – para documentar, salvaguardar e divulgar a arquitetura tradicional dos povos originários do Brasil.

6.2 ALDEIA SÃO MARCOS

Em meados do século XVIII se deram os primeiros contatos entre as frentes pioneiras que se expandiam pelo Brasil Central e o grupo indígena autodenominado *A’uwẽ*, que então habitava o norte de Goiás e que passou a ser conhecido por Xavante, nome este atribuído também, em ocasiões diversas, a vários outros grupos, mas que acabou por ficar restrito a apenas três línguas diferentes, sendo culturalmente distintas: Oti-Xavante, do oeste do estado de São Paulo; Opaié ou Ofaié-Xavante, do sul de Mato Grosso do Sul, ambos extintos neste século; e *A’uwẽ* Xavante ou simplesmente Xavante, que do norte de Goiás se deslocou para o sudeste de Mato Grosso, onde hoje habita. A autodenominação *A’uwẽ* é atribuída não só aos Xavante mas também ao povo Xerente, do norte de Goiás.

A aldeia de São Marcos surge da própria história de resistência do povo Xavante frente a séculos de violência e tentativa de apagamento de sua existência. Surge da tentativa de reunião do povo violado, exilado e violentado pelas políticas de apagamento de sua existência, praticadas pelo Estado, ao longo das últimas décadas.

Violão de direitos deixa sempre cicatrizes. Essas cicatrizes são, ao mesmo tempo, psicológicas, dos indivíduos e dos grupos que vivenciam processos de traumatização; espaciais ou geográficas, decorrentes da apropriação, reapropriação, despossessão e destruição dos territórios; e físicas, inscritas nos corpos dos homens e mulheres, idosos e crianças, que foram violentados e mortos. Em todos os casos, a sua reparação exige uma cuidadosa arqueologia, feita com novos métodos e epistemologias capazes de desvelar os sujeitos apagados nos processos de colonização. (Assis in Tavares, 2020, p. 12).

A história da aldeia de São Marcos começa em 1958 com a fundação da Missão Salesiana em terras indígenas bororo e a transferência de Xavante acampados para esse território. Segundo mostram os estudos de Sá (1982), em 1958, a aldeia Xavante de São Marcos tinha apenas 200 moradores, mas a esse núcleo inicial se juntaram

depois vários outros grupos de Xavante, vindos de diferentes comunidades, de modo que essa aldeia teve um rápido crescimento demográfico: em 1962, já tinha mais de 300 habitantes. Em 1972, um decreto criou a Reserva Xavante de S. Marcos, mas seus limites definitivos só foram estabelecidos por um outro decreto em 1975. (Lopes, 1992; Sá, 1982).

Os povos indígenas do Brasil estão agrupados em dois troncos linguísticos principais: Tupi e Macro-Jê e, ainda, em outras famílias que não pertencem diretamente a esses troncos principais, tais como Pano, Karib e Aruak. Existem também as línguas isoladas, que não possuem relação comprovada com os troncos ou as famílias linguísticas. Os grupos indígenas de língua Jê, adaptados ao cerrado com florestas de galeria, foram obrigados a sucessivos recuos frente às políticas de expansão da sociedade nacional, cedendo as grandes extensões de terra que ocupavam e estando agora confinados em áreas isoladas de cerrado ou floresta tropical, à qual alguns deles se adaptaram (Lopes, 1992).

Esses grupos podem ser divididos em Jê Meridionais, Setentrionais e Centrais, conforme a região onde se localizam, estando o grupo Xavante incluído entre os Jê Centrais juntamente com o Xerente, com o qual tem muitas semelhanças linguísticas e socioculturais (Lopes, 1992; Silva, 2006).

A sociedade Xavante, tal como outras sociedades Jê, é caracterizada pela complexidade de sua organização, que se evidencia na diversidade de grupos sociais e que tem a organização sócio-cosmológica dual como fundamento principal, isto é, “[...] apresenta-se baseada em uma dialética de teses e antíteses [...]” (Sá, 1982, p.40).

Todo indivíduo pertence, necessariamente, a diversas organizações sociais, sejam organizadas por critérios etários ou de clãs, por exemplo, e aos quais deve obrigações e lealdade, o que, para Sá (1982), embora possa às vezes criar tensões, serve como manutenção do equilíbrio social, pois esses grupos têm geralmente diferentes domínios de ação. São essas obrigações e lealdades que determinam não apenas como o indivíduo deve agir, mas também quem ele é e como se coloca no mundo (Sá, 1982; Silva, 2006).

O arranjo social constituído para possibilitar a construção da casa Rí do povo Xavante, para o cacique Zé Maria, tem a ver com essas obrigações e lealdades. Para a realização do trabalho foi necessária a construção de um cenário favorável para a

presença da equipe de pesquisadores na aldeia, por meio de um arranjo social que resultou na construção da edificação.

Todo o processo construtivo foi documentado, fotografado e filmado em uma câmera fixa para realização posterior de um vídeo *timelapse* da construção (Figura 56).

Figura 56 — Videografia: Documentação arquitetônica do processo construtivo da casa Rí, saberes imateriais do patrimônio



Fonte: Autor.

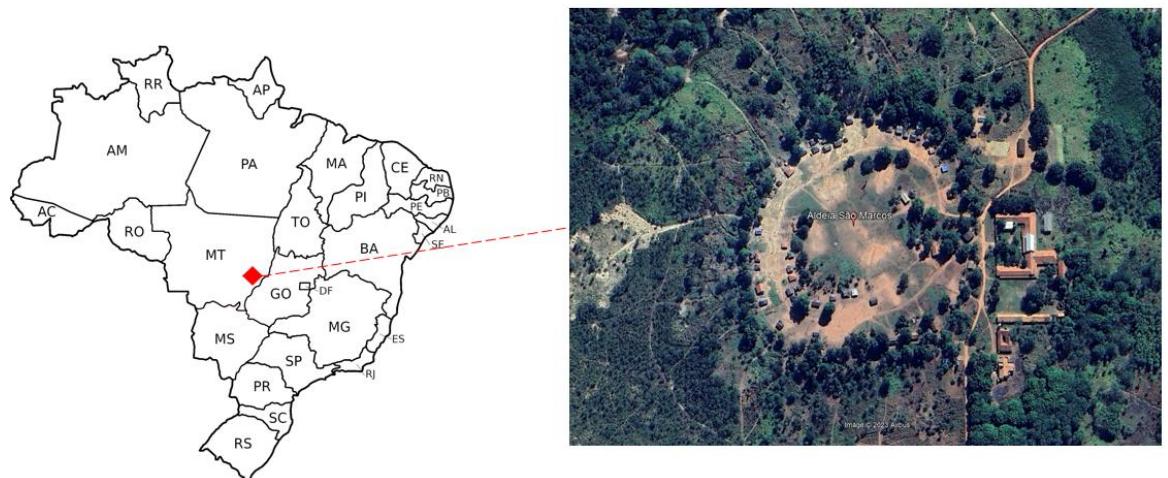
Imagens: Lívia Brandão.

6.3 RÍ UPTABI: CASA DE VERDADE

A segunda parte dos estudos de caso dessa pesquisa desenvolveu-se em campo, junto ao povo Xavante, mais precisamente na aldeia de São Marcos, localizada na terra indígena de São Marcos, no estado do Mato Grosso, Brasil (Figura 57).

A visita de campo aconteceu em agosto de 2023 e durou 7 dias na aldeia. O trabalho de campo etnográfico teve como principal foco a documentação do processo construtivo do edifício denominado casa Rí – residência familiar tradicional do povo Xavante.

Figura 57 — Localização da Aldeia de São Marcos, terra indígena Xavante



Fonte: Autor.

Para a aquisição dos dados etnográficos utilizados na documentação do segundo estudo de caso, foram aplicadas diferentes técnicas: aerofotogrametria, videografia, medições diretas, desenhos esquemáticos e entrevistas com os membros da comunidade responsáveis pela construção.

O processo completo de construção da casa foi realizado em 4 dias, segundo o diário a seguir.

6.3.1 1º Dia do processo de construção

O primeiro dia de campo começa com a viagem da cidade de Barra do Garças até a Terra Indígena A'uwe Xavante de São Marcos, aldeia de São Marcos. Dentre todas as dificuldades em se manter a utilização das técnicas construtivas, surge como alternativa o emprego de maquinários modernos como tratores e caminhonetes para auxiliar o processo de transporte de material.

Para isso foi necessária a articulação para o empréstimo do trator pertencente a outra aldeia A'uwe, dentro da terra indígena de São Marcos, a Aldeia São Brás, do Cacique Raimundo. São Brás foi fundada recentemente por Cacique Raimundo e seus filhos. A aldeia não tem a presença da Igreja Católica como a missão Salesiana, comum na região, e o cacique e sua família defendem uma política de resgate da cultura A'uwe e da identidade cultural dos membros da aldeia. O filho do cacique, Cirino, nos mostrou o berçário de mudas de Buriti em manejo sustentável que estão desenvolvendo em parceria com pesquisadores da Universidade Federal de Goiás.

Cirino defende a necessidade do manejo das espécies importantes para a manutenção da cultura A'uwe. Dentre essas espécies está o Buriti, usado tanto na construção civil, como na confecção de elementos de extrema importância para a cultura Xavante como o *bakité*, cesto de palha de uso diverso (Januário, 2016).

Ao final da visita à Aldeia São Brás, o cacique Raimundo nos levou à pequena escola da aldeia durante o período de aula e me solicitou que fizesse uma pequena explanação para as crianças sobre a importância do trabalho que iríamos realizar na aldeia de São Marcos (Figura 58).

Figura 58 — Aula para as crianças da Aldeia São Brás, na terra indígena Xavante de São Marcos



Fonte: Autor.

A documentação dos processos construtivos tradicionais de arquitetura indígena vai além da captura das ações construtivas em si, uma vez que devem também contemplar o registro e documentação dos rituais e eventos sociais ligados a construção dessa edificação.

O processo construtivo coletivo da construção da casa Rí, para o cacique Zé Maria, teve início com o ritual com a queima de uma grande fogueira ao pôr do sol no centro da aldeia, com os membros do grupo etário *Tiro'wá* entoando gritos de

convocação para que os demais membros do grupo comparecessem a reunião. (Figura 59).

Figura 59 — Ritual de convocação do grupo Tiró'wa para a Construção da casa Rí



Fonte: Autor.

Foi então apresentada ao grupo a situação do padrinho e sua solicitação, expressa em forma de choro, para a construção de sua casa pelo grupo, pois o cacique acabara de ficar viúvo e necessitava retornar para morar na aldeia. Na cultura do povo A'uwe, nessa ocasião, o padrinho do grupo deve se isolar, permanecer em choro e lamentar durante todo o processo de construção da casa. Nesse ritual da primeira noite em campo, fui devidamente adornado com elementos da cultura e apresentado aos demais membros do grupo que conheceram um pouco mais da minha ligação antiga com o povo de São Marcos. Fui iniciado e aceito nessa noite como membro parte do grupo etário dos *Tiró'wa*.

Para anunciar e convocar a comunidade para o processo colaborativo de construção, o ritual segue com a realização de uma dança pelo grupo, embalada por um canto de convocação para o mutirão de construção. O grupo deu uma volta completa na aldeia entoando o canto na porta das casas e convocando a todos para participarem do mutirão de construção. Fiquei encarregado de iniciar o canto a cada ciclo de cantorias ao longo da aldeia, noite adentro (Figura 60).

Figura 60 — Ritual de convocação do grupo Tiró'wa para a Construção da casa Rí



Fonte: Autor.

6.3.2 2º Dia do processo de construção

O segundo dia do processo construtivo começou às 6 horas da manhã com uma reunião no warã, o centro da aldeia, para o compartilhamento dos sonhos da noite anterior, como tradição do povo A'uwe, e a definição das frentes de trabalho. As mulheres ficaram encarregadas da colheita da palha de pindóba (*Attalea Oleífera*) para a cobertura (Figura 61).

Figura 61 — Coleta da palha de Pindoba (*Attalea Oleífera*) pelo grupo de mulheres A'uwe xavante



Fonte: Autor.

Um grupo de homens ficou com a colheita dos brotos de folha de buriti para serem usados nas amarrações e nós (conexões estruturais) e outro grupo, responsável pela colheita da madeira a ser usada na estrutura tensionada vertical, da

espécie popularmente conhecida como pata de vaca (*Bauhinia Rufa*). (Figura 62). A madeira colhida foi usada na construção em sua forma bruta, sem passar por nenhum processo de tratamento. Ao fim do segundo dia foram fixados e posicionados o pilar central e os caibros para serem curvados (Figura 63).

Figura 62 — Coleta da madeira para a estrutura da casa Rí: Espécie *Bauhinia Rufa*



Fonte: Autor.

Figura 63 — Processo de montagem da estrutura da casa Rí: Curvamento e amarração da estrutura tensionada



Fonte: Autor.

Figura 64 — Brotos da folha de Buriti (*Mauritia flexuosa*) usados na amarração da estrutura



Fonte: Autor.

Todas as fibras utilizadas para os elementos de conexões como nós e amarras são derivadas de um processo de melhoramento dos brotos da folha da palmeira. (Figura 64 e 65). Nesse processo, são retirados os talos do broto da folha de Buriti e mantidas as fibras da folha jovem fixadas à base (Figura 66).

Figura 65 — Cacique José Maria executando o processo de melhoramento do broto das folhas de Buriti



Fonte: Autor.

Figura 66 — Jovens executando o processo de tratamento dos brotos para serem usados na amarração da estrutura



Fonte: Autor.

Em um processo de resgate de conhecimentos construtivos da cultura Xavante, os jovens da comunidade se envolveram com o preparo da fibra de Buriti para as amarras, segundo as técnicas construtivas tradicionais.

Ainda no segundo dia foram iniciados os procedimentos para a etapa de planejamento das missões de voo. Para documentar todo o processo construtivo, foi necessário o levantamento em diferentes etapas da obra e foram necessárias várias missões de voo.

Foram realizadas missões de voo com *drone* para aerofotogrametria, em três diferentes fases da construção da casa Rí. A primeira missão, realizada ainda no segundo dia, teve como objetivo capturar dados espaciais da estrutura completa antes do início da etapa de fechamento/cobertura com a palha (Figura 67).

Figura 67 — Imagem aérea da primeira missão de voo para captura de dados métricos da casa Rí



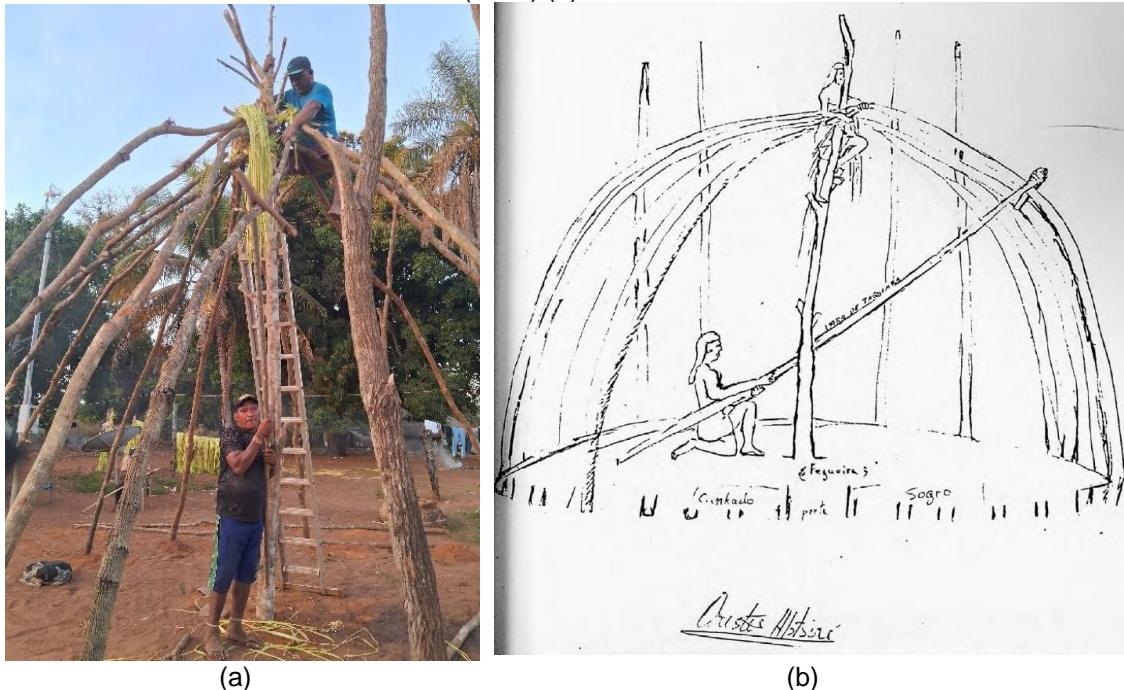
Fonte: Autor.

6.3.3 3º Dia do processo de construção

O terceiro dia da construção começou com o processo de curvamento e amarração das peças que formam os arcos ogivais tensionados da estrutura. São peças de aproximadamente 12 cm do gênero *Bauhinia*, espécie nativa do cerrado, também chamada de *Popai-Hö* na língua A'uwẽ. Foram coletadas 26 peças para serem usadas na estrutura em casca da Rí. Toda a madeira utilizada na construção foi coletada em apenas uma manhã. Foi necessário o uso do trator para o transporte da madeira até a aldeia.

A técnica do uso da ferramenta em forquilha, utilizada para curvar os elementos verticais tensionados e aplicada durante a construção da casa, mostrou-se a mesma descrita por Sá (1982), inclusive com o emprego desse mesmo tipo de ferramenta construída especialmente para a função do curvamento da estrutura (Figura 68). Conforme os relatos de Sá (1982), na técnica tradicional, apenas o núcleo familiar se envolve na construção da casa e a tarefa de curvar as peças do solo ficava com as mulheres. Abaixo, duas imagens diferentes da aplicação da ferramenta usada para curvar os elementos verticais.

Figura 68 — Processo de curvamento dos elementos verticais da estrutura da casa Rí: Imagem da construção (a) desenho explicativo do processo de tensionamento da estrutura na pesquisa de Sá (1982) (b)



(a)
Fontes: Autor / Reproduzido de Sá (1982).

(b)

Também no terceiro dia de construção, teve início a colocação dos elementos horizontais de travamento da estrutura feitos por bambus partidos ao meio longitudinalmente, de espécie nativa do cerrado, popularmente conhecido por taboca do cerrado, (*Actinocladum Verticillatum*). Os elementos são fixados com nós específicos com a fibra de broto de Buriti. Todos os tipos de nós usados na construção da casa tiveram sua execução documentada em vídeo (Figura 69).

Figura 69 — Documentação por vídeo da execução do nó de amarração dos elementos horizontais da estrutura



Fonte: Autor.

Figura 70 — Amarração dos elementos horizontais (taboca) da estrutura da casa Rí



Fonte: Autor.

Figura 71 — Amarração dos elementos horizontais (taboca) da estrutura da casa Rí



Fonte: Autor.

Simultaneamente à montagem da estrutura, teve início a preparação da palha para ser usada na cobertura. As palhas são estendidas ao sol para secar e posteriormente recebem uma preparação com a quebra do talo central para servir de engaste nas tabocas horizontais (Figura 72). Esse tipo de tratamento é aplicado para a técnica de colocação chamada pelos Xavante de técnica “caboclá”.

Figura 72 — Processo de secagem e dobra das folhas de Pindoba usadas no fechamento da casa Rí

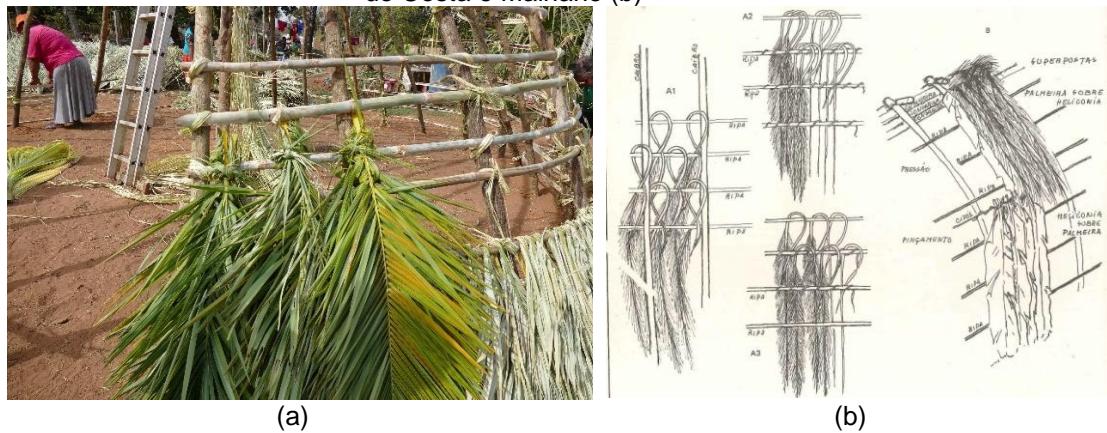


Fonte: Autor.

O processo de colocação da palha para o fechamento/cobertura provocou uma discussão entre a comunidade e o resgate de um saber tradicional já perdido entre os mais novos do grupo. Dona Bernardete, anciã e mãe de um dos construtores alertou para a tecnologia xavante antiga de uso da palha, com a sobreposição de três folhas fixadas com um nó específico (Figura 73a). A colocação da palha foi iniciada com a técnica denominada pelo povo A'uwẽ como “caboclá”, técnica mais simples de ser

executada, mais ágil e com menor gasto de material. Essa forma de colocação da palha está descrita nos estudos antigos coordenados por Berta Ribeiro no livro “Suma Etnográfica Brasileira: Volume 2”, de Costa e Malhano (1986) (Figura 73b). Por esse motivo, apesar de a técnica tradicional xavante ter sido aplicada em parte da cobertura, foi decidido o uso e incorporação da técnica de fixação da palha denominada “cabocla” (Figura 73a).

Figura 73 — Diferentes técnicas de colocação da palha de pindoba (a) Esquema de fixação da palha de Costa e Malhano (b)



Fonte: Autor / Reproduzido de Costa e Malhano (1986).

A aplicação da técnica cabocla de cobertura de palha requer uma preparação do material para facilitar o processo de fixação das folhas de pindoba nos elementos horizontais da estrutura (Figura 74). Os talos das folhas das palmeiras são quebrados e macerados na dobra para manter o formato necessário para a fixação nas tabocas, elementos horizontais da estrutura. Muitos autores defendem que a técnica de palha usada nas coberturas das casas vernaculares caboclas é uma influência da cultura indígena, mas no caso da casa Rí foi detectada a influência das técnicas dos povos africanos incorporada pela arquitetura indígena no Brasil. Diferente do que defende Portocarrero (2018), na realidade foi a técnica cabocla, de maior racionalidade no uso do material e maior simplicidade na execução, que acabou por influenciar a forma de construir indígena.

Figura 74 — Mulher A'uwe realizando o tratamento da palha para a aplicação da técnica de fixação cabocla



Fonte: Autor.

Para a captura de dados espaciais e dados etnográficos do processo construtivo da casa Rí, foi necessário realizar missões de voo de *drone*, em diferentes etapas da construção. Para tanto, ainda no terceiro dia teve início o processo de aquisição de dados métricos capturados por fontes primárias (aerofotogrametria). No terceiro dia, após a etapa de planejamento dos voos foram realizadas as primeiras missões para aquisição de dados da estrutura ainda em fase inicial (Figura 75).

Figura 75 — Primeiras missões para captura de imagens: Finalização da montagem dos elementos verticais tensionados (a). Início da colocação dos elementos horizontais (b)



Fonte: Autor.

6.3.4 4º Dia do processo de construção

O último dia de construção teve início às 7 horas da manhã com a continuação e finalização da cobertura. Foram finalizadas a fixação dos elementos horizontais de taboca e a colocação da palha de Pindoba. Como sequência na documentação do processo construtivo da casa Rí, foram realizadas mais missões de voo para a captura do estágio avançado da construção até a captura final (Figura 76). No quarto dia teve início a etapa dos acabamentos internos com a apara dos elementos de conexão em fibra de Buriti (Figura 77).

Figura 76 — Imagens das missões de voo do quarto dia: Fixação dos elementos horizontais e colocação da palha de pindoba para o fechamento (a). Imagem aérea da edificação concluída (b)



Fonte: Autor.

Figura 77 — Elementos de fechamento internos a serem aparados como acabamento



Fonte: Autor.

No quarto dia foram finalizadas a montagem da estrutura horizontal (Figura 78), a colocação dos elementos de fechamento em palha de pindoba e a realização dos

acabamentos internos finais. Os trabalhos de construção da casa Rí foram finalizados por volta do meio-dia do quarto dia.

Figura 78 — Finalização da construção da casa Rí



Fonte: Autor.

Ao final da construção, conforme os costumes da cultura A'uwe, tem início o ritual de recompensa à comunidade pelo envolvimento no trabalho. A carne, antes de caça e agora de gado, foi negociada com a fazenda vizinha à reserva de São Marcos e entregue, conforme combinado ao final do quarto dia de obra. Logo após o término da construção, acontece a divisão da recompensa (carne bovina) entre as famílias. Aquelas que participaram mais ativamente do processo construtivo (grupo dos *Tiró'wa*) recebem as melhores partes do gado. As mulheres com seus *Bakité* ficam encarregadas do recebimento da carne. À sombra de uma grande árvore, forma-se uma fila de maneira organizada e harmoniosa, para a distribuição do alimento para as famílias envolvidas na construção (Figura 79).

Figura 79 — Imagens do ritual de distribuição da carne como recompensa pela construção da casa Rí

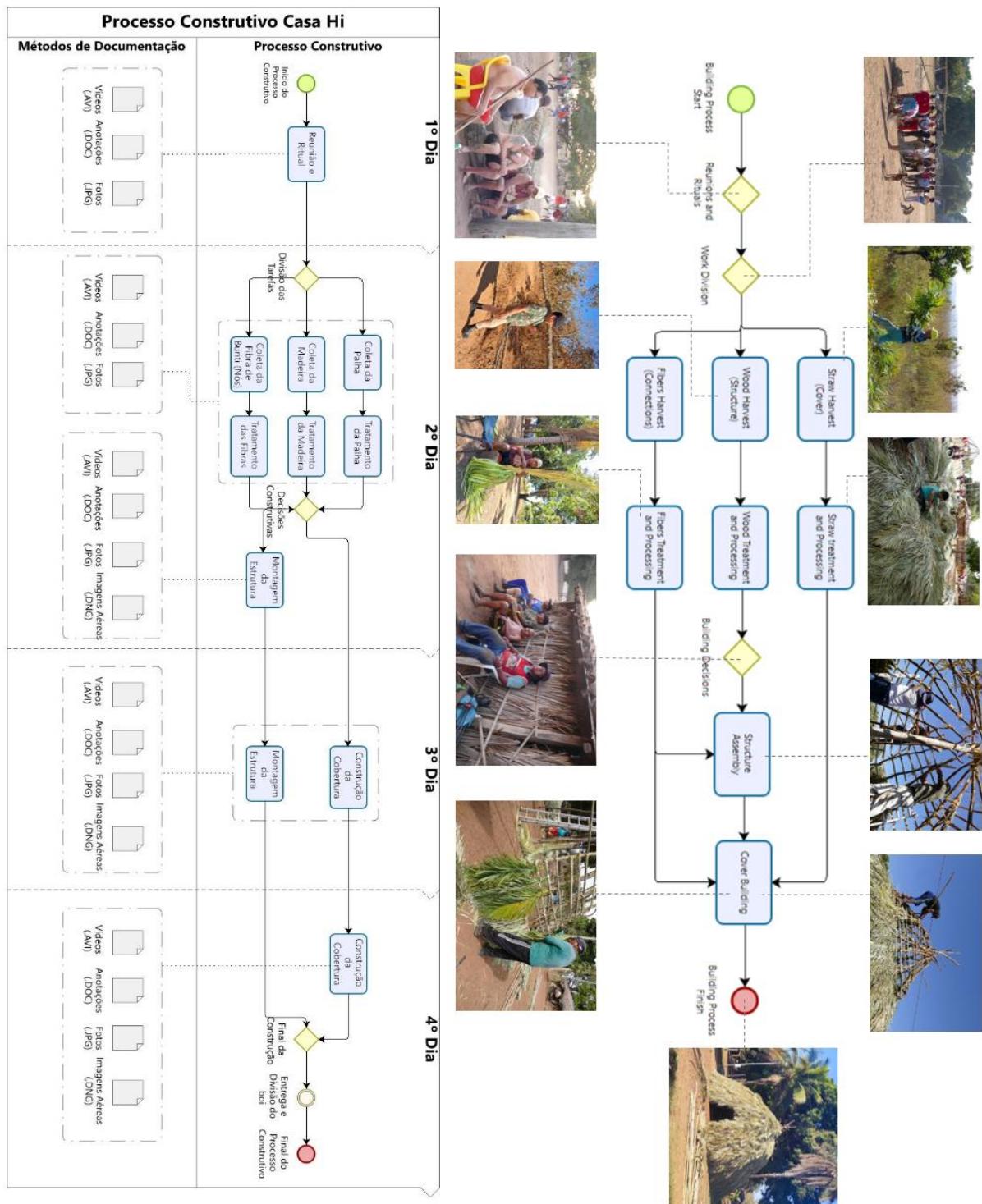


Fonte: Autor.

Mapeamento BPMN¹² do processo construtivo da casa Rí do povo Xavante (Figura 80):

¹² Business Process Model and Notation (BPMN): No contexto do BIM (Building Information Modeling), os gráficos BPMN são usados para mapear os fluxos de trabalho, responsabilidades, trocas de informação e etapas de processos colaborativos, como no desenvolvimento de projetos, coordenação entre disciplinas, execução de obras e operação de edificações.

Figura 80 — Gráfico BPMN do processo construtivo da casa Rí



Fonte: Autor.

6.4 BAKITÉ: O MUNDO NO CESTO DE PALHA

O *Bakité* (Figura 81) pode ser utilizado como transporte de objetos, berço para crianças e armazenamento de comida, por exemplo.

Figura 81 — Bakité, cesto símbolo da Cultura A'uwe Xavante



Fonte: <https://www.garmentory.com/726686-carrying-basket-by-xavante-people-natural>.

A importância desse artefato para a cultura é facilmente percebida com a convivência na aldeia, desde o uso trivial do dia a dia até durante rituais sagrados e caçadas. De acordo com a cosmologia dos A'uwe Xavante, a arte de confecção do *Bakité* foi ensinada por um ancestral às anciãs que repassaram esse conhecimento para as outras gerações e aperfeiçoaram as técnicas de coleta do material, as medidas, os tamanhos, as quantidades e as formas de utilização no cotidiano da aldeia. A coleta da matéria prima – o broto da folha da palmeira Buriti - é uma função das mulheres, que sabem as técnicas de corte, a quantidade, o tamanho e o preparo do material para a confecção deste objeto.

Figura 82 — Mulher A'uwe Xavante confeccionando o cesto Bakité.



Fonte: <https://fotodoc.com.br/ensaio/as-mulheres-xavante/>.

Os cestos são amplamente utilizados nas atividades cotidianas para a coleta de frutas e castanhas, para carregar a carne das caçadas, transportar lenha para as casas, para guardar objetos e roupas no interior das casas, além também de serem muito usados pelas mulheres para transportarem as crianças quando são pequenas.

O *Bakité* carrega também uma carga simbólica e uma importância cultural para o povo A'uwe, pois são muito usados durante os rituais, as cerimônias e as festas tradicionais. Este é um objeto com forte apelo representativo, pela sua importância no cotidiano e pela forma como marca a identidade A'uwe Xavante com base no formato peculiar e único do cesto.

Após o contato sistemático com a sociedade não indígena e a dificuldade cada vez maior de encontrar a matéria prima para a confecção do cesto, muitas comunidades têm diminuído consideravelmente o interesse pela confecção e utilização do cesto Xavante (Januário, 2016).

Artefatos como este, confeccionados de forma artesanal, segundo saberes ancestrais, passados oralmente há várias gerações, são considerados símbolos da identidade cultural de um povo, logo, bens culturais de valor material e imaterial, fundamentais na valorização e manutenção da cultura de uma comunidade tradicional,

merecedor de ações que fomentem políticas públicas para o fortalecimento e preservação das tradições e das práticas culturais.

6.5 RÍ UPTABI: DO SCAN AO BIM

De acordo com Cogima et al., (2020), mesmo não havendo ainda um protocolo de voo à curta distância para aquisição de dados de edifícios de valor histórico e patrimonial, é essencial seguir alguns parâmetros no planejamento da captura com o uso de *drones*.

Para garantir a qualidade da nuvem de pontos a ser usada como apoio a modelagem BIM, é importante considerar: a) número de voos; b) percurso do voo; c) ângulos de captura; d) sobreposição mínima necessária; e e) a segurança do operador e do equipamento. O método de geração do HBIM para a casa Rí foi composto de quatro etapas, cujo fluxo está apresentado abaixo:

- a) Planejamento da Captura: voo orbital, ângulos predefinidos, disparos automáticos, sobreposição >70%;
- b) Aquisição de Imagens: *software* de planejamento de voo *Dronelink* – 34 imagens, nuvem de pontos densa;
- c) Processamento das imagens: *software* de processamento de imagens *Agisoft Metashape*, com 34 imagens;
- d) Avaliação e Modelagem: *software* para conversão Autodesk Recap to Autodesk Revit, classificação semântica.

No processo conhecido como *Scan-to-BIM*, os elementos criados na ferramenta BIM a partir da nuvem de pontos foram desenvolvidos por um processo manual de modelagem, usando-se a nuvem de pontos como referência. Para a inserção da nuvem de pontos no ambiente tridimensional do Autodesk Revit para suporte à modelagem é necessária uma conversão de formatos. A nuvem de pontos exportada do *software* de processamento Metashape em formato .las foi aberta no *software* Autodesk Recap Pro e salva em formato .rcp, compatível com o Autodesk Revit® (Cogima et al., 2020).

Os dados gerados pelo processo de aerofotogrametria ainda não identificam de maneira automática os elementos capturados. Logo a modelagem de informação da construção passa a ser etapa fundamental para inserção de inteligência ao

modelo. O processo adotado nessa pesquisa segue os protocolos *Scan to BIM* do laboratório Carleton Immersive Media Studio (CIMS).

Os equipamentos utilizados nessa pesquisa estão especificados no Quadro a seguir:

Quadro 6 — Equipamentos utilizados na pesquisa

| Método | Equipamento |
|-----------------------------------|---|
| Fotogrametria Digital Aérea | Quadricóptero DJI modelo Air 2, com câmera acoplada |
| Videografia (<i>time lapse</i>) | Câmera Fotográfica Leika modelo V-LUX5 sensor 20,9 MP |
| Fotografia (Documentação) | Câmera Fotográfica Nikon D500 sensor 20,9 MP |

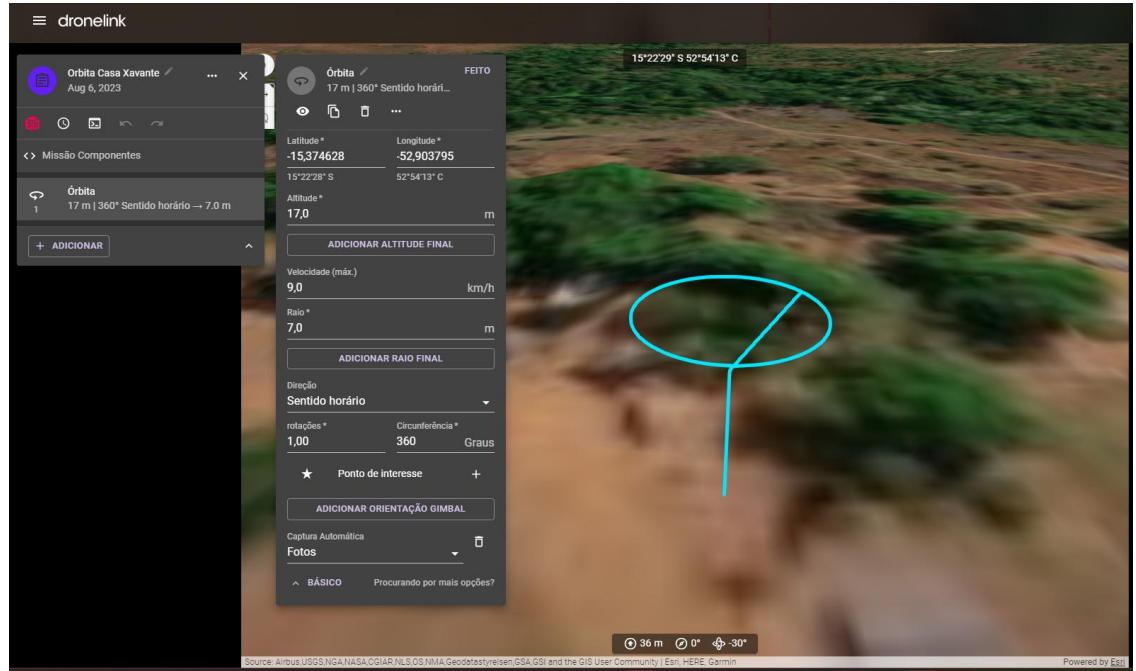
Fonte: Autor.

6.5.1 Planejamento da captura

Como fonte de dados primários foram utilizados os dados espaciais adquiridos pelas missões de aerofotogrametria desenvolvidas com o uso do *drone* da marca DJI modelo *Mavic Air 2*. Os voos foram pré-programados com o auxílio do *software* de navegação *Dronelink*, que tem como uma das funções a automatização dos voos de captura de imagens por câmera.

Os voos são orientados por sistema de triangulação de satélite e podem ser configurados nos modos: *map*, *orbit*, *pano* e *waypoints*. No caso de edificações, o método utilizado nesse estudo foi o modo de voo Orbital 360°, com voos em círculo ao redor da edificação a ser documentada., velocidade 9 km/hora com um raio de giro de 7 metros. Foram realizados dois primeiros voos com alturas de 25 e 20 metros, respectivamente. A altura ideal encontrada para a documentação desse tipo de edificação nas condições apresentadas no local foi de 17 metros, tendo em vista a grande quantidade de obstáculos aéreos ao redor do edifício (Figura 83).

Figura 83 — Painel de controle de planejamento do voo orbital pelo software de controle de voo Dronelink.



Fonte: Autor.

Foram capturadas imagens de *drone* das diferentes etapas do processo construtivo para gerar um modelo de nuvem de pontos para ser usado como base da modelagem paramétrica. O processo de aquisição dos dados primários via *drone* foi dificultado devido às condições de voo nas imediações do local onde foi implantada a construção. Além da presença de árvores e redes de eletricidade no espaço aéreo sobre a casa, as missões foram interrompidas algumas vezes por ataque de aves ao *drone*.

6.5.2 Aquisição das imagens

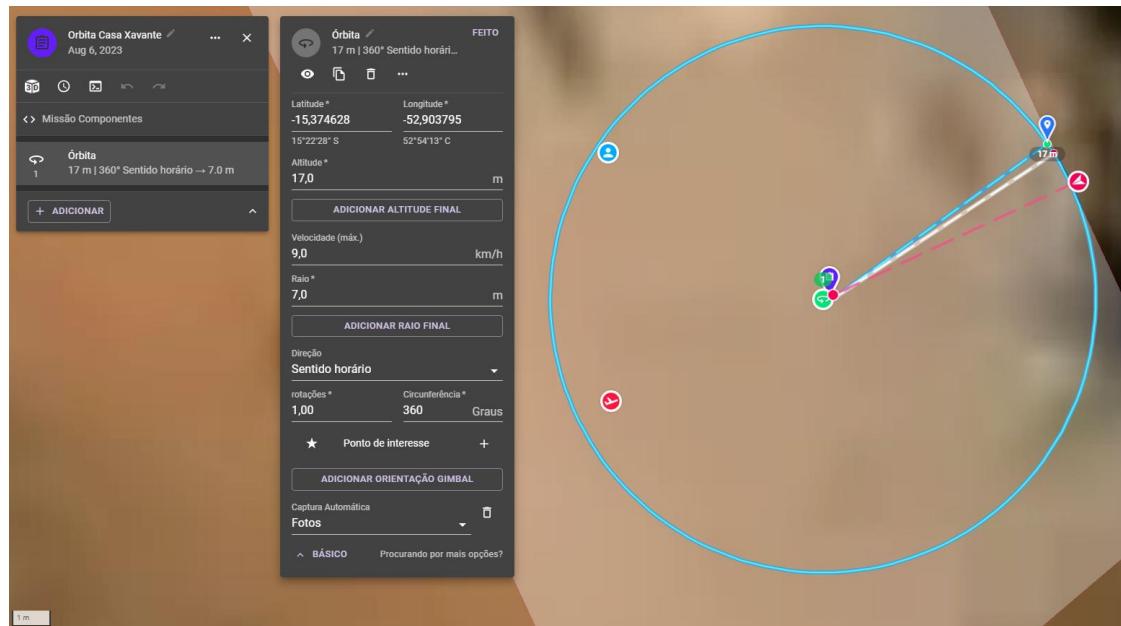
O processo de captura de dados espaciais do processo construtivo de uma edificação indígena por aerofotogrametria exige uma divisão em etapas das missões, com diversos voos, realizados em diferentes fases do processo construtivo, a fim de viabilizar a captura de imagens para que possa servir como fonte de dados primários para a documentação do processo construtivo de uma edificação indígena.

A quantidade de obstáculos no espaço aéreo sobre a área de construção da casa Rí interferiu no planejamento e na metodologia de captura empregada na pesquisa. Árvores, palmeiras e fios de eletricidades impediram um voo orbital em

baixa altura para captura em ângulos laterais à edificação. Foram programados diversos voos, em diferentes configurações, a fim de encontrar os melhores parâmetros para a captura dos dados.

O primeiro voo foi realizado a 25 metros de altura em uma velocidade de 10 km/h e com raio de 9 m de circulação ao redor do edifício. Após alguns testes chegou-se à melhor configuração do voo com altura a 17 metros do solo, velocidade de 9 km/h e órbita com raio de 7 metros. A velocidade do voo a 9 km/h impactou na baixa quantidade de fotos capturadas pelo modo Orbital 360° (Figura 84).

Figura 84 — Configuração final no software Dronelink adequada ao local. Velocidade de 9 km/h com altitude de 17 metros e raio de órbita de 7 metros

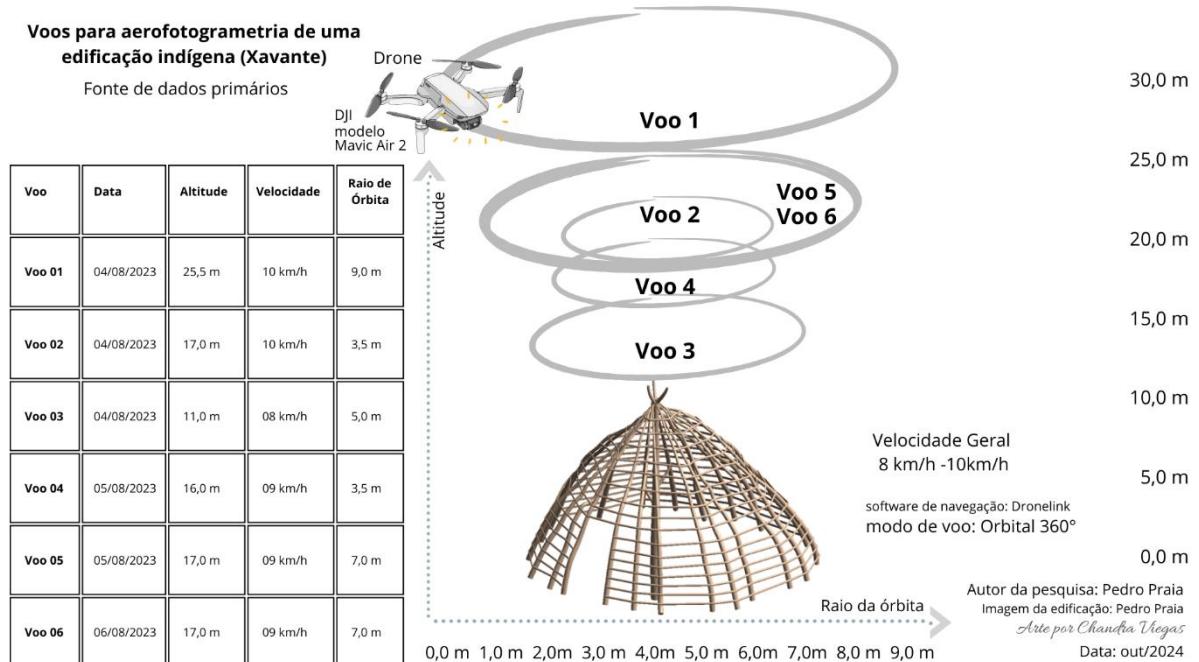


Fonte: Autor.

Todos as missões de voos para captura de dados métricos da casa Rí foram realizados por meio de planejamento de voo prévio, controlado via satélite e com configuração de fotos para sobreposição de fotos de 80%. A quantidade de fotos capturadas em cada voo foi configurada de maneira automática pelo software *Dronelink* em função da sobreposição e da velocidade configuradas no voo. Foram capturadas em média 8 fotos por voo. Ao final de todas as missões foram capturadas 48 imagens.

As configurações dos voos estão descritas conforme diagrama da Figura 85:

Figura 85 — Representação da configuração dos voos para aerofotogrametria de uma edificação indígena



Fonte: Autor (Arte por Chandra Viegas).

6.5.3 Processamento das imagens

Para o processamento dos dados no estudo de caso 2 da presente pesquisa, utilizou-se o Agisoft Metashape – software para processamento fotogramétrico de imagens digitais e geração dados espaciais 3D para serem usados em aplicativos BIM, GIS, na documentação de patrimônio cultural e produção de efeitos visuais, assim como para medições indiretas de objetos em várias escalas (Silva et al., 2022).

Os primeiros processamentos de imagem dessa pesquisa ocorreram no Brasil, no laboratório de Reabilitação do Ambiente Construído (LABRAC) na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da UnB.

A pesquisa seguiu o *workflow* padrão presente no software Agisoft Metashape, conforme descrito abaixo:

- 1^a Etapa: Alinhar fotos;
- 2^a Etapa: Construir nuvem densificada;
- 3^a Etapa: Construir modelo;
- 4^a Etapa: Construir textura;
- 5^a Etapa: Construção da DEM;

- 6^a Etapa: Geração do mosaico de ortofotos.

Nessa primeira experiência de processamento de imagens, o processo construtivo da casa Rí foi dividido em duas etapas, com a primeira etapa apenas com a estrutura tensionada aparente e a segunda etapa após o fechamento completo com as folhas da palmeira pindoba.

6.5.3.1 1º Processamento de Imagens: Etapa Construtiva 1

No primeiro teste de processamento das imagens foram alinhadas 16 imagens, capturadas em diferentes voos, em apenas 1 *chunk* no software Agisoft Metashape. (Figura 86).

Nesse processamento, feito com as imagens capturadas na primeira etapa da construção, apenas com a estrutura esbelta da casa, não foi possível detectar espacialmente os objetos delgados da estrutura tensionada e criar o modelo de nuvem de pontos com as informações espaciais.

A quantidade de fotos adquiridas por *drone* não foi suficiente para o cruzamento de dados espaciais.

Figura 86 — Processamento de imagens da etapa construtiva 01 – 01 chunk com 18 imagens: Imagem aérea por drone. (a) Alinhamento das imagens no software de processamento Agisoft Metashape

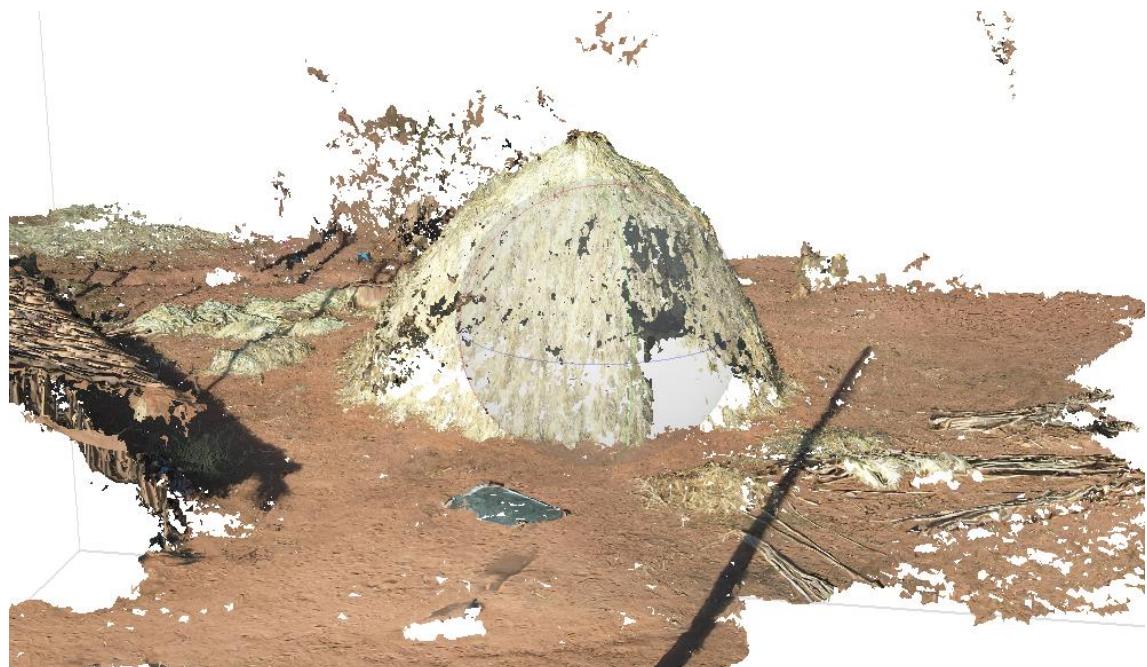


Fonte: Autor

6.5.3.2 1º Processamento de Imagens: Etapa Construtiva 2

No primeiro processamento realizado com as imagens capturadas da Etapa 2, da fase concluída da edificação, foram alinhadas 18 imagens. Nesse processamento já foi possível a detecção de dados espaciais a partir do cruzamento das imagens carregadas no programa. Porém a pouca quantidade de fotos e a ausência de tratamento nas imagens resultou em um modelo com muitas falhas e baixa qualidade gráfica.

Figura 87 — Resultado do primeiro processamento de imagem da etapa construtiva 02 – 01 *chunk* com 16 imagens



Fonte: Autor.

Esta pesquisa contou com um projeto de pesquisa junto ao laboratório CIMS da Universidade de Carleton, em Ottawa, Canada. Todos os dados capturados na visita de campo à Aldeia São Marcos foram levados para o laboratório CIMS para um segundo processamento, dessa vez seguindo o protocolo de processamento de imagens do laboratório.

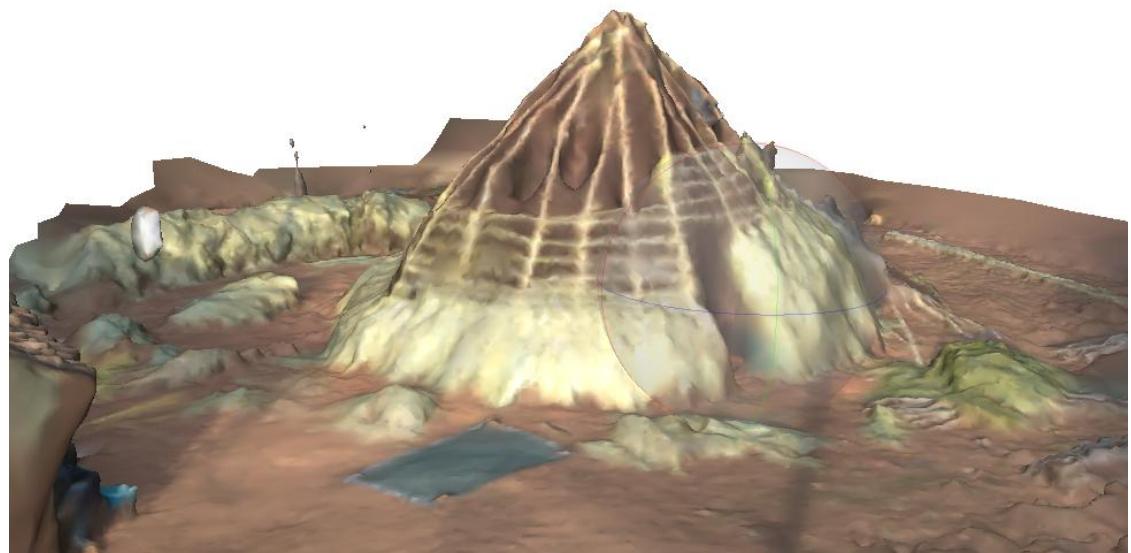
6.5.3.3 2º Processamento de Imagens – Etapa Construtiva 1

O segundo teste de processamento das imagens passou pela etapa de tratamento das imagens antes de serem carregadas para o software de processamento. As imagens foram tratadas pelo software Adobe bridge com o uso do *plug in RAW*. No processamento da etapa construída 1, foram alinhadas 10 imagens, capturadas em diferentes voos, em apenas 1 *chunk* no software Agisoft Metashape.

Nesse processamento, também não foi possível capturar dados da estrutura esbelta da casa; mesmo com o tratamento das imagens, não foi possível detectar espacialmente os objetos delgados da estrutura tensionada e criar o modelo de nuvem de pontos com as informações espaciais.

Para o segundo teste de processamento, o processo construtivo foi dividido em três etapas, com uma etapa intermediária com as palhas do fechamento/cobertura parcialmente colocadas. Para o processamento dessa etapa intermediária, foram alinhadas 10 imagens previamente tratadas, em um segundo *chunk* no mesmo arquivo. Dessa forma, foi possível adquirir dados espaciais da estrutura antes de ser coberta, para basear a modelagem dos elementos tensionados curvos da estrutura.

Figura 88 — Resultado do 2º processamento de imagem da etapa construtiva 02 – 01 chunk com 10 imagens

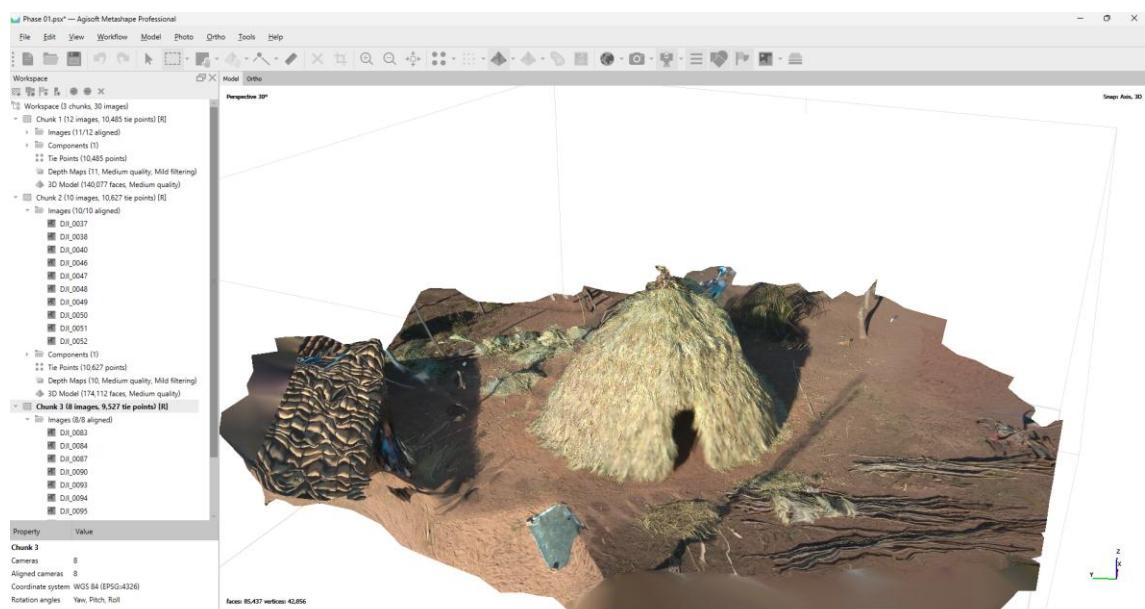


Fonte: Autor.

6.5.3.4 2º Processamento de Imagens – Etapa Construtiva 2

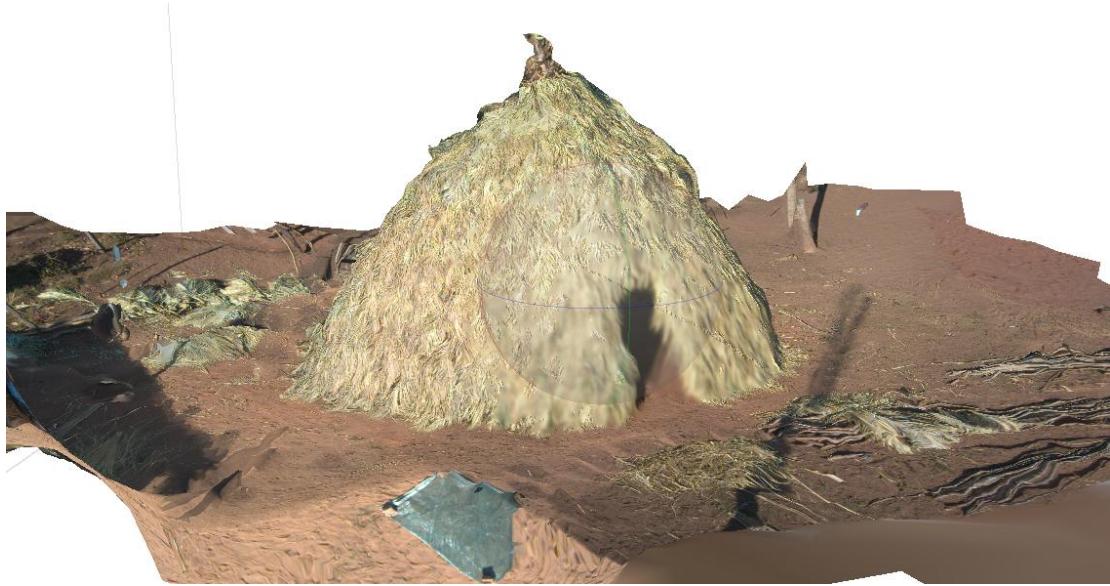
O segundo processamento das imagens da etapa construída 2, foi realizado com o tratamento e correção de cores e exposição das imagens antes de serem carregadas para o software Metashape. Foram alinhadas 8 imagens no terceiro *chunk* no mesmo arquivo. O modelo tridimensional foi gerado com um nível de detalhe e qualidade gráfica muito superior ao modelo do primeiro processamento.

Figura 89 — Processamento 02 (Etapa Construtiva 2) – 1 *chunk* com 8 imagens



Fonte: Autor.

Figura 90 — Modelo de Nuvem de Pontos resultante do Processamento 02 (Etapa construtiva 2) – 01 chunk com 8 imagens

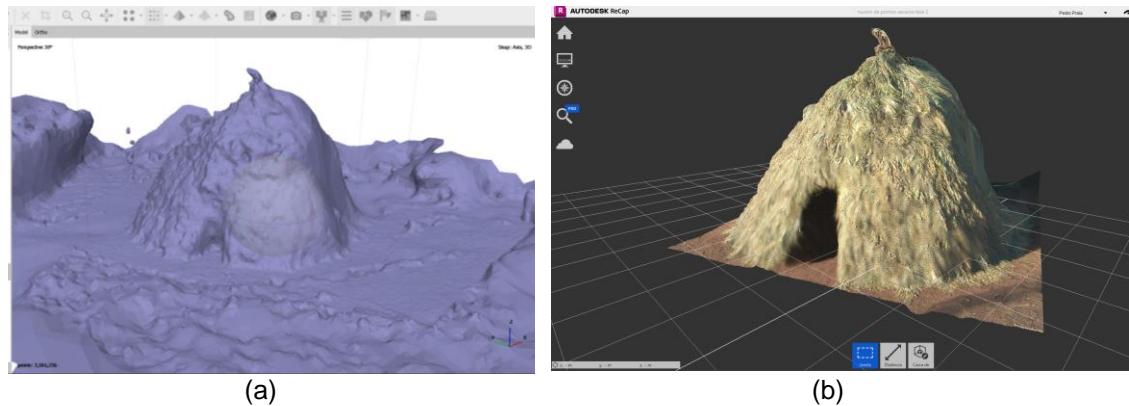


Fonte: Autor.

6.5.4 Modelagem HBIM

Após o processamento das imagens, que seguiu as etapas do *workflow* padrão no software Metashape, foram extraídas as nuvens densas de pontos geradas em formato .las e exportadas para o software Recap Pro da Autodesk para serem convertidas em formato .rcp, possível de ser reconhecido no ambiente do Revit.

Figura 91 — Processo de conversão de nuvem de pontos para formato compatível com o Autodesk Revit: Nuvem de pontos densa no software Metashape (a). Nuvem de pontos convertida no software Autodesk ReCap Pro (b)

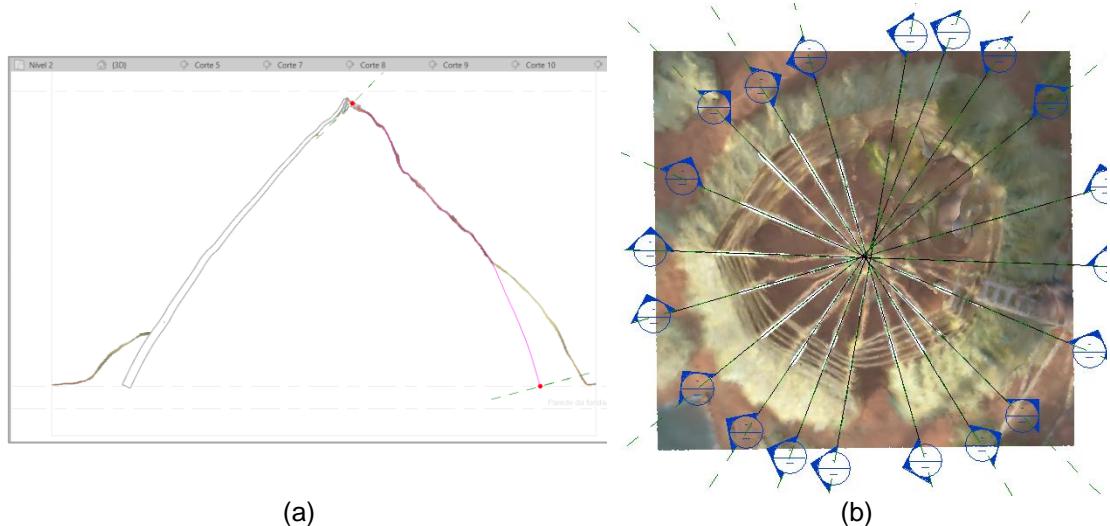


Fonte: Autor.

Para o processo de modelagem da estrutura como existente, a nuvem de pontos foi importada para o Revit e uma série de cortes e plantas em diferentes níveis foi criada para basear a modelagem dos elementos. Para os elementos verticais foram

criados cortes sobre as peças tensionadas para possibilitar a modelagem desses elementos conforme o perfil das peças verticais, capturado pela nuvem de pontos (Figura 92).

Figura 92 — Da nuvem de pontos ao BIM



Fonte: Autor.

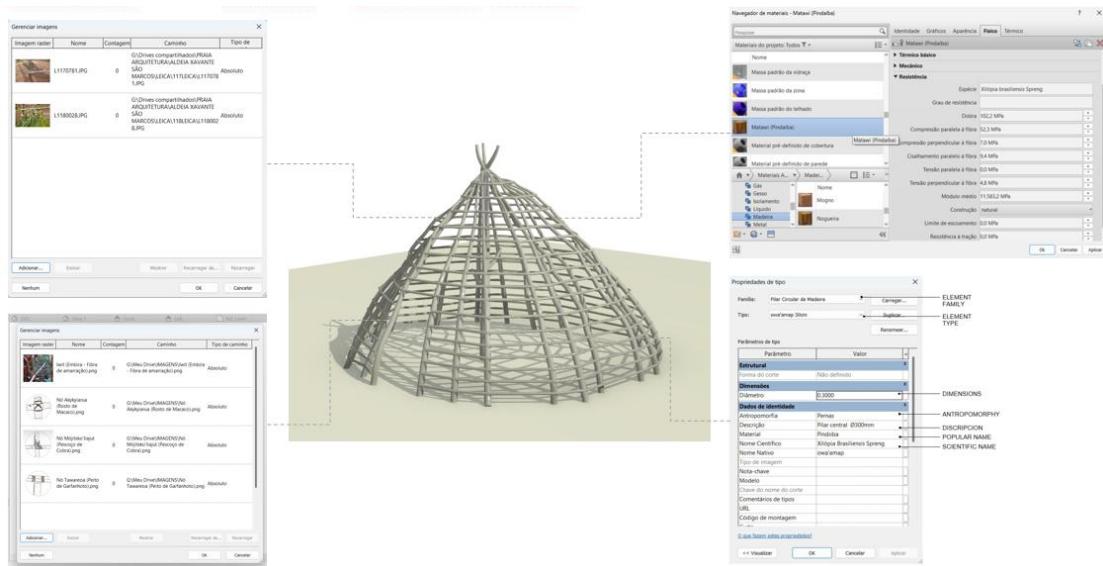
Nota: (a) perfil em corte da nuvem de pontos utilizada como base para a modelagem das estruturas verticais tensionadas por meio da ferramenta Sweep do Revit.

(b) Cortes posicionados nos eixos dos elementos verticais, utilizados como vista para a modelagem HBIM.

Não foi possível enquadrar os elementos estruturais em uma categoria pré-existentente no software Revit. As peças foram modeladas no local na categoria quadro estrutural, devido à falta de uma ontologia que contemple a topologia estrutural com elementos de função duplicada (pilar/viga) da arquitetura do povo A'uwe Xavante.

Outro fator que embasou a escolha do tipo de modelagem como “no local” foi a geometria particular de cada elemento. Os elementos do modelo foram alimentados com dados etnográficos com informações semânticas (metadados) sobre a cultura construtiva do povo. Foram utilizados parâmetros existentes no Revit, como propriedades físicas dos materiais construtivos, descrições sobre o processo, dimensões, e foram acrescidos outros parâmetros com dados etnográficos como a categoria antropomórfica de cada elemento, a nomenclatura na língua xavante, rituais construtivos e outros (Figura 93).

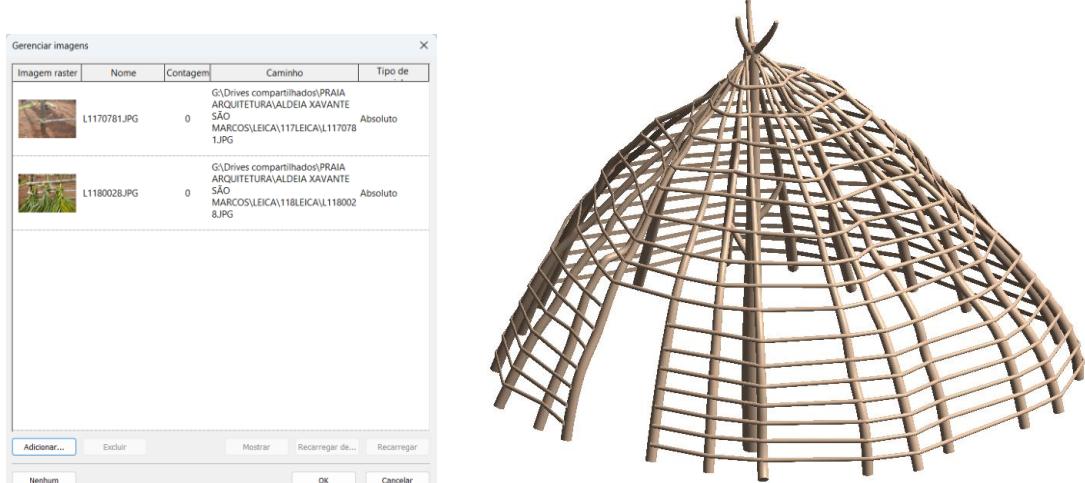
Figura 93 — Dados etnográficos inseridos como metadados no modelo HBIM no software Autodesk Revit®



Fonte: Autor.

Para informações sobre a categoria antropomórfica de cada elemento, foi criado um parâmetro de dados de identidade com as diferentes partes do corpo humano relativo a cada elemento da construção. O nome de cada elemento construtivo na língua nativa e o nome popular e científico do material também foram inseridos como parâmetro de identidade. Dados como as propriedades físicas dos materiais foram inseridos dentro da categoria “materiais”, na aba “dados físicos”, onde podem ser inseridas informações como a densidade básica, resistência e outros dados acerca do comportamento estrutural dos materiais. Devido à complexidade geométrica dos elementos de fechamento/cobertura (palha de pindoba), essas informações foram adicionadas ao modelo como parâmetros gráficos em imagens e vídeos lincados aos elementos do modelo (Figura 94).

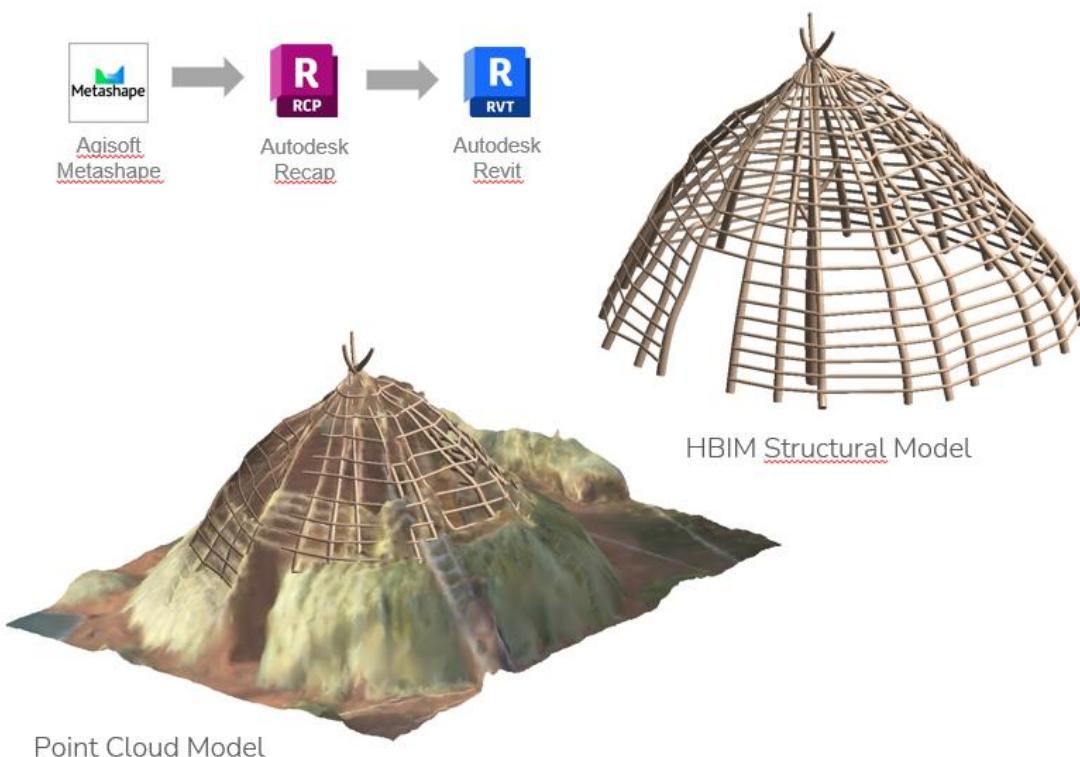
Figura 94 — Informações sobre a cobertura, com fotos e vídeos, inseridos como dados semânticos no software Autodesk Revit®



Fonte: Autor.

Abaixo, diagrama *Point Cloud to HBIM* (Figura 95), mostrando a interoperabilidade entre softwares, necessária para a metodologia HBIM. Apresenta o resultado do estudo de caso 2: modelagem por fontes primárias de uma edificação indígena A'uwe Xavante.

Figura 95 — Diagrama Point Cloud to HBIM da edificação tradicional Xavante presente no estudo de caso 2



Fonte: Autor.

6.5.5 Captura e documentação de estruturas esbeltas

Para documentar estruturas indígenas de perfil delgado são necessários mais voos e um maior número de imagens a fim de viabilizar o processamento das imagens e a geração do ortoimagem e da nuvem densa de pontos.

A pesquisa contou com a parceria do laboratório CIMS, e o segundo processamento das imagens foi realizado no laboratório CIMS da Universidade de Carleton, sob a supervisão do Professor Stephen Fai e do Professor Mario Santana. Diante da dificuldade encontrada e no insucesso em traduzir as imagens de *drone* em dados espaciais no processamento da primeira etapa da construção Xavante, o problema foi levado ao Laboratório CIMS e foi proposto um novo teste de documentação dessa tipologia de elementos estruturais delgados (Figura 96). Para testar a metodologia de captura adequada a esse tipo de estrutura foi feita a documentação por aerofotogrametria da estrutura de uma Tipi, habitação tradicional indígena do povo Wikwemikong, do Canadá (Figura 97).

Para a captura dos elementos delgados da estrutura foi decidido o uso de técnicas mistas de aerofotogrametria e fotogrametria terrestre. Foram geradas 229 imagens, entre 126 imagens de *drone* e 103 imagens manuais. O fator de sobreposição das fotos varia entre 70 e 80%.

Diferente do processo de captura do estudo de caso 2 desta pesquisa (Casa Rí), na documentação da estrutura da Tipi foram utilizadas tanto a aerofotogrametria por *drone* como a fotogrametria terrestre. Foi capturada uma quantidade muito maior de fotografias, o que possibilitou e facilitou o cruzamento de dados para a geração do modelo tridimensional da estrutura.

Um fator importante na captura de estruturas esbeltas em madeira, além de todas as recomendações usuais em um processo de fotogrametria, é que se deve sempre manter uma maior precisão no foco nas peças centrais do enquadramento fotográfico, durante a captura das imagens.

Figura 96 — Imagens do processo de captura de dados para estruturas esbeltas da arquitetura indígena canadense



Fonte: Autor.

Figura 97 — Tipi, edifício tradicional do povo indígena canadense Wikwemikong

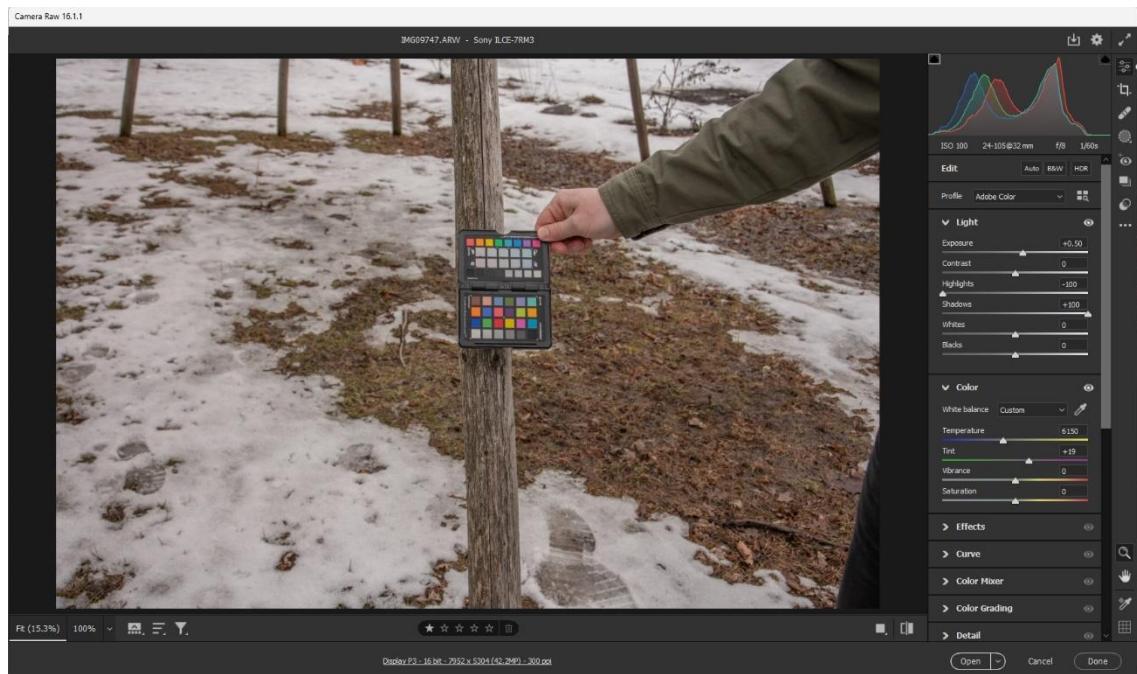


Fonte: Autor.

Para trazer maior precisão ao processamento das imagens e facilitar a conversão das imagens fotográficas em dados espaciais, o laboratório CIMS segue um rigoroso protocolo que inclui o tratamento das imagens em *software* especializado (Adobe Bridge), a fim de equalizar o balanço de cores e uniformizar a luz e a sombra nas imagens capturadas. Esse processo é essencial para trazer maior precisão métrica e maior qualidade gráfica para o modelo gerado (Reina Ortiz et al., 2021).

Para o estudo de caso da arquitetura indígena canadense, foi utilizado o Colorchecker Passport para a calibragem das cores (Figura 98). Como a captura das imagens foi durante o inverno canadense, a luz natural estava mais uniforme, sem incidência direta de raios solares e sem grandes contrastes de luz e sombra. Essas condições facilitaram o processo de tratamento e uniformização das imagens a serem processadas.

Figura 98 — Captura de imagem contendo o X-Rite - Colorchecker Passport



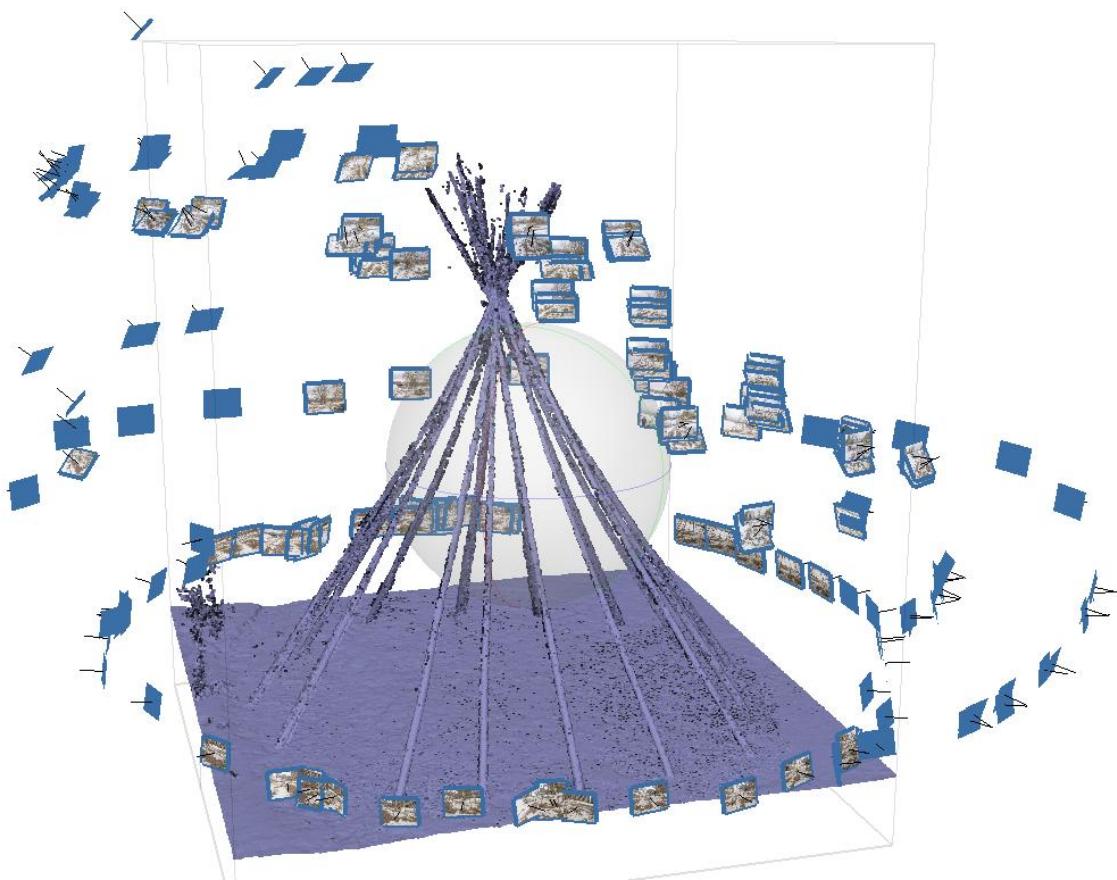
Fonte: Autor.

A iluminação natural varia de acordo com a orientação do objeto a ser documentado. A variação na exposição à luz provoca uma diferença nas fotografias capturadas conforme a orientação solar. Para o processo de fotogrametria, essa diferença de iluminação pode prejudicar o alinhamento das imagens para a geração dos dados espaciais. Para corrigir esse problema é necessário calibrar as imagens para que fiquem com a mesma intensidade de luz e sombra. O uso do X-Rite ColorChecker Passport permite calibrar a câmera e criar uma base de cores para condições de iluminação específicas, além de corrigir a exposição e corrigir o balanço de branco (Reina Ortiz et al., 2021).

O processamento das imagens para a obtenção do modelo da Tipi foi realizado no software Metashape e seguiu a técnica de uso misto de imagens de *drone* e imagens capturadas manualmente, todas as imagens foram tratadas no software

Adobe bridge pelo *plug in RAW* e alinhadas no Metashape para a criação da nuvem densa de pontos (Figura 99).

Figura 99 — Alinhamento das imagens para o processamento no software Metashape



Fonte: Autor.

O estudo de caso da documentação do *Tipi* na universidade de Carleton foi fundamental para aprimorar o entendimento acerca das técnicas de captura de estruturas esbeltas em madeira da arquitetura indígena, assim como a metodologia de processamento das imagens, com aplicação de técnicas que mesclam, em um mesmo *chunk* no software Metashape, a captura de imagens por meios manuais com imagens aéreas capturadas por *drone*.

7 CONCLUSÕES

A pesquisa mostrou que apenas a utilização de processos de modelagem manuais em software BIM com o uso de dados gráficos e métricos bidimensionais (desenhos técnicos, CAD) não são suficientes para capturar e modelar com a devida precisão os elementos presentes na arquitetura indígena do Brasil.

7.1 HBIM NA DOCUMENTAÇÃO DA ARQUITETURA INDÍGENA

A complexidade das estruturas e conexões em madeira e palha fazem necessário o emprego de tecnologias avançadas de levantamento cadastral como aerofotogrametria e escaneamento a *laser* como base para a modelagem BIM. A pesquisa mostrou também que, além das técnicas de levantamento digital, outros recursos e áreas do conhecimento, como história, antropologia e arqueologia, devem ser empregados como auxílio na captura e processamento dos dados etnográficos presentes nos processos de construção de uma edificação indígena, o que mostra também o caráter interdisciplinar da pesquisa.

A utilização das tecnologias de modelagem por nuvem de pontos e o escaneamento a *laser* aliados à modelagem de informação da construção (BIM) podem contribuir com o processo de documentação e salvaguarda da arquitetura desenvolvida pelos povos originários no Brasil, enquanto bem cultural a ser preservado.

Outro ponto a ser observado é a dificuldade na categorização ontológica dos elementos construtivos da arquitetura indígena, dentro dos softwares BIM, uma vez que as três etnias estudadas possuem uma abordagem topológica como solução tectônica e tem em um mesmo elemento função de parede e cobertura, o que se mostra um desafio a ser categorizado dentro do software Revit, que segue uma lógica de separação ontológica vitruviana proposta desde os primeiros estudos de Dore et al. (2014).

Os softwares de modelagem BIM, em sua grande maioria, foram desenvolvidos no Ocidente e estão voltados para a arquitetura ortogonal em alvenaria ou, como disseram Youn et al. (2021), voltados para a arquitetura de pedra. A categorização ontológica dos elementos construtivos dentro dos softwares BIM segue a lógica

vitruviana proposta por Dore e Murphy (2014), em que os elementos estão previamente categorizados.

No software de modelagem Revit, por exemplo, os elementos estão ontologicamente divididos em cobertura, paredes, pisos, pilares, vigas, entre outros. Porém, essa categorização não se aplica de maneira geral para todas as culturas e tecnologias construtivas presentes na humanidade. A arquitetura dos povos indígenas estudada nessa pesquisa segue uma abordagem topológica, ou seja, parte de um outro entendimento acerca de conceitos como interior e exterior ou fechamentos e coberturas, por exemplo. Na arquitetura topológica, muitas vezes, os elementos adquirem mais de uma função. Paredes viram coberturas que podem seguir em forma orgânica como piso (Youn; Yoon; Ryoo, 2021; Zhang; Xu; Wang, 2022).

O fato de a pesquisa ter realizado duas modelagens diferentes da casa tradicional Xavante, sendo a primeira modelada com base em fontes secundárias e a segunda com base em fontes primárias, possibilitou a comparação dos resultados nos dois processos. Os resultados obtidos a partir da modelagem por fontes primárias se mostrou com uma precisão métrica superior aos modelos feitos por fontes secundárias (Figura 100).

Figura 100 — Comparação entre a modelagem por fontes secundárias e fontes primárias: Modelo confeccionado a partir de desenhos e arquivos CAD (a). Modelo HBIM por fontes primárias (b)



Fonte: Autor.

A possibilidade de inserção de metadados e informações não geométricas e a classificação ontológica no modelo HBIM, enquanto elemento tridimensional e multidisciplinar de organização de dados, podem ser de grande valia não só no registro e preservação do patrimônio material como também na salvaguarda do patrimônio cultural imaterial brasileiro.

A documentação e preservação de tecnologias construtivas indígenas é fundamental para a manutenção da cultura desses povos e a divulgação dessas

culturas é essencial para o processo de resgate da memória e identificação do povo brasileiro com sua ancestralidade. O dimensionamento e análise estrutural das estruturas indígenas em madeira podem ter grande valia sob três principais aspectos: na documentação e preservação do patrimônio cultural de povos extremamente ameaçados; no registro e conhecimento de técnicas ancestrais de construção de grandes vãos com madeira tropical; e no impulsionamento do uso da plataforma BIM como ferramenta de registro de patrimônio histórico material e imaterial.

Dessa forma, a criação de um modelo HBIM de uma habitação tradicional indígena pode contribuir com o chamado patrimônio cultural virtual, além de funcionar como registro, não só das tecnologias aplicadas às edificações existentes mas também como preservação de um conhecimento milenar tão ameaçado pelos interesses econômicos da sociedade contemporânea.

7.2 UM MONUMENTO À MEMÓRIA A'UWĒ XAVANTE EM SÃO MARCOS

A palavra “monumento” tem sua origem etimológica no verbo latino *monēre*, com raiz *mem* da qual deriva também *meminī*, que significa “ter presente no espírito, recordar-se, lembrar-se de alguma coisa”, daí “monumento”, também do latim *monumēntum*, significando “aquilo que traz à memória, o que faz lembrar”. Segundo o historiador de arte austríaco Alois Riegl (Cunha, 2006) em sua obra “O culto moderno dos monumentos” de 1903, o significado mais antigo e original do termo monumento histórico remete a uma obra que tem como função a manutenção da memória coletiva de um povo, sociedade ou grupo. Como destaca Françoise Choay:

A especificidade do monumento deve-se precisamente ao seu modo de atuação sobre a memória. Não apenas ele a trabalha e a mobiliza pela mediação da afetividade, de forma que lembre o passado fazendo-o vibrar como se fosse presente. Mas esse passado invocado, convocado, de certa forma encantado, não é um passado qualquer: ele é localizado e selecionado para fins vitais, na medida em que pode, de forma direta, contribuir para manter e preservar a identidade de uma comunidade étnica ou religiosa, nacional, tribal ou familiar (Choay, 1992 *apud* Cunha, 2006, p. 7).

Já o conceito de monumento histórico está ligado a uma abordagem cronológica linear, uma forma sequencial de contar o tempo, com passado, presente e futuro, e parte do conceito de uma ruptura entre passado e presente.

Essa abordagem não corresponde à maneira circular de contar o tempo, presente na cosmovisão dos povos indígenas. Segundo Filho e Januário (2011), o aspecto cronológico do tempo assume papel secundário na cosmovisão dos povos indígenas. Segundo os autores, existem múltiplos tempos com intervalos, dimensões, velocidades, inícios e finalizações diferentes.

Para os povos indígenas existem diferenças entre o tempo individual e coletivo. Segundo Filho e Januário (2011), para o povo A'uwẽ, o tempo coletivo é social, cultural e circular. Sobressai-se ao tempo individual e o influencia. As sociedades que vivem baseadas em uma abordagem circular do tempo não envelhecem. Estão em constante renovação, ressignificando suas vidas em cada fase. Os indivíduos morrem, e os rituais os mantêm vivos para o convívio social nos nomes, nas homenagens e nas lendas.

Para Da Silva (2006), diferentemente da concepção ocidental, o tempo na concepção do povo A'uwẽ não é organizado em termos cronológicos em relação ao passado, presente e futuro, correspondendo à ordem de progressão da reta numérica – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8... – presente em todo sistema matemático escrito. O conceito de tempo para esse povo tem, essencialmente, características espirais, cíclicas, marcadas por atividades sazonais ligadas a condições climáticas concretas – o período da seca e da chuva – e por elementos da própria estrutura social, como a interação entre os grupos etários presentes na cultura A'uwẽ Xavante.

A ideia de monumento histórico, assim como proposto pela Carta de Veneza (Kuhl, 2010), não leva em conta a pluralidade de culturas e suas diferentes maneiras de contar o tempo, o conceito de “monumento histórico” se baseia no respeito pela passagem do tempo sobre a matéria. Assim como mostrou Kuhl (2023), Francois Choay insiste na diferenciação entre monumento e monumento histórico, evidenciando a diversidade cultural e as diferentes perspectivas e relações das culturas com o tempo e a matéria (Choay, 1992; Cunha, 2006; Kuhl, 2010, 2023).

O patrimônio cultural arquitetônico indígena do Brasil encontra-se cada vez mais ameaçado, vulnerável a conflitos e sujeito ao desaparecimento, como é caso do povo Xavante, que vem sofrendo nos últimos séculos com disputas fundiárias, destruição do bioma ao qual sempre estiveram adaptados, o cerrado, e, por consequência, com a escassez de matéria prima, perda de suas tradições construtivas e sua arquitetura tradicional.

Nesse sentido, a presente pesquisa traz à luz a reflexão sobre a importância da preservação do patrimônio arquitetônico indígena como forma de manter as marcas da passagem desses povos ao longo do tempo.

Segundo Kuhl (2023), a Carta de Veneza continua válida para guiar intervenções em “monumentos históricos”, mas não é válida para todo e qualquer “monumento”. Trata-se de um tema a ser tratado com atenção, pois, para Reigl, a Carta de Veneza trata de monumentos históricos, que para Choay (1992) trata-se de um conceito europeu criado na era moderna. Para Choay, (1992) o termo “monumentos históricos”, firmado a partir do Renascimento, se impulsiona ainda mais no fim do século XVIII por conta do conceito vigente à época de “ruptura” entre passado e presente.

Para Kuhl (2023) este é um tema que merece devida atenção, pois a Carta de Veneza está voltada aos “monumentos históricos”, como definidos por Riegl no início do século XX, e distingue entre “monumentos” no sentido etimológico da palavra, como elementos feitos para celebrar acontecimentos, pessoas, rituais, crenças; e “monumentos históricos”, que Françoise Choay mostra ser construção europeia (catalisada a partir do Renascimento) e que está baseada no sentimento de ruptura entre passado e presente, voltada a bens, feitos ou não com intenções memoriais e que, com o tempo, adquiriram significação cultural.

Choay (1995) considera que o conceito de “monumento histórico” está pautado no respeito pela matéria da obra, como transformada pelo tempo, Sendo uma abordagem de origem judaico-cristã, diretamente relacionada com uma visão linear sobre a passagem do tempo.

Nesse sentido, o Congresso de Nara, de 1994, sobre autenticidade, reconheceu como bens culturais artefatos até então não considerados “monumentos históricos” por não atenderem aos critérios de autenticidade fundamentados pela lista do patrimônio Mundial da UNESCO. Foi discutido o caso do templo em madeira *Isé*, da cultura oriental xintoísta. O Documento de Nara sobre a Autenticidade amplia a discussão, reconhece a diversidade cultural e a pluralidade de maneiras de contar o tempo e lidar com o passado.

Segundo Choay (1992), a prática de desmantelamento ritual, seguida de reconstrução de forma idêntica, assim como praticada até os dias de hoje no Japão, é incompatível com a noção de conservação, que não difere “monumento” de

“monumento histórico”. O monumento de *Isé*, da cultura Xintó, pode ser enquadrado como monumento vivo, o templo tem que ser destruído e reconstruído como forma de purificação do local e da própria matéria do qual é feito (a madeira). Ou seja, mais importante do que a conservação de um material é a preservação dos aspectos simbólicos do edifício.

A cosmovisão dos povos Xavante no Brasil baseia-se em um entendimento de uma visão circular acerca do transcorrer do tempo (Filho; Januário, 2011; Januário, 2016; Tsereshi’ru, 2019). Os A’uwẽ Xavante, assim como os povos orientais da cultura xintoísta, possuem edifícios importantes dentro da cultura, de valor histórico e que são constantemente destruídos de maneira ritualística e reconstruídos com a mesma função, o que Choay (1995) chama de desmantelamento ritual, ainda em vigor no templo de *Isé*. Como no caso da casa Hö Xavante, que a cada ciclo etário era destruída e reconstruída para o novo grupo (Sá, 1982; Tsereshi’ru, 2019).

Portanto, o processo de resgate dos saberes e práticas construtivas indígenas e a reconstrução de uma edificação tradicional dos povos Xavante, na segunda parte desse estudo, são entendidos como forma de reconstrução e preservação de um monumento enquanto um edifício que adquiriu significação cultural com o tempo e que acessa a memória pelo afeto, toca pela emoção. É uma obra que tem como função reviver e relembrar técnicas ancestrais de se construir e ocupar o espaço e, assim, resgatar a identidade cultural do povo Xavante.

A presença de uma edificação tradicional Xavante em uma aldeia onde já não existem mais casas feitas com as técnicas originais de construção pode ser vista como uma forma de se fazer observar, de se advertir e de se trazer à memória práticas construtivas ameaçadas, bens culturais da cultura indígena carentes de preservação.

O segundo estudo de caso da pesquisa documenta o processo construtivo de uma edificação xavante e mostra como tecnologias digitais de levantamento cadastral e modelagem BIM podem ser aplicadas na documentação e salvaguarda do patrimônio cultural indígena brasileiro. Nesse estudo, técnicas como aerofotogrametria e modelagem por nuvem de pontos são aplicadas junto a metodologia HBIM (*Heritage Building Information Modeling*) no auxílio à modelagem paramétrica de uma edificação tradicional da arquitetura Xavante como forma de documentação e preservação de um patrimônio resiliente aos desastres ambientais e conflitos fundiários.

Essa pesquisa visa o resgate de saberes e tecnologias ancestrais e a preservação desse patrimônio imaterial por meio da reconstrução e documentação não só de uma edificação mas de todo o processo construtivo, um conhecimento arquitetônico tão ameaçado.

A casa Hö do povo Xavante é uma edificação importante no fortalecimento identidade, pertencimento cultural e desenvolvimento sociocultural dos jovens na cultura desse povo por ser a casa onde moram os adolescentes, desde a infância até a idade de transição para a vida adulta, que dura cerca de três anos. Após esse período, a edificação tem que ser destruída e reconstruída para o próximo grupo. O fato de a edificação ser completamente desmantelada, queimada e reconstruída não faz com que sua monumentalidade e seu significado se percam, pois o valor monumental não está diretamente ligado à passagem do tempo sobre a matéria. Para a cosmovisão indígena, tempo não é apenas sobre a materialidade, mas sobre as simbologias e significados.

Para muitos povos indígenas existem diferenças entre o tempo individual e coletivo. Para Da Silva (2006), o tempo coletivo é social, cultural e circular. Sobrepon-se ao tempo individual e o influencia. As sociedades que vivem num tempo circular não envelhecem. Estão constantemente se renovando, ressignificando suas vidas em cada fase. Os indivíduos morrem, e os rituais os trazem de volta para o convívio social nos nomes, nas homenagens e nas lendas (Da Silva, 2006).

Portanto, no segundo estudo de caso da presente pesquisa entende-se restauro como a recuperação de técnicas construtivas e outros saberes tradicionais do patrimônio arquitetônico indígena, tão abalado pelas consequências da colonialidade em curso. A pesquisa de campo apresentada nesse estudo trata do processo de resgate da arquitetura tradicional do povo A'uwe por meio da construção de uma casa de arquitetura original em uma aldeia onde já não existem casas feitas pelas técnicas construtivas tradicionais do povo A'uwe, com planta em formato circular e cobertura e fechamentos em palha. Preservar os saberes tradicionais desse povo é resgatar, pela emoção e pelo afeto, a memória e identidade cultural indígena dos povos originários do Brasil.

8 PROPOSTAS PARA ESTUDOS FUTUROS

O campo de pesquisa que relaciona a tecnologia BIM com a documentação arquitetônica vernacular em madeira é vasto, multidisciplinar e pode se desdobrar em diferentes linhas de investigação. Essa pesquisa entende que o modelo HBIM de uma edificação tradicional pode ser usado para diversos processos de análise e simulações, relacionadas a preservação e conservação desses saberes tradicionais e dessas edificações.

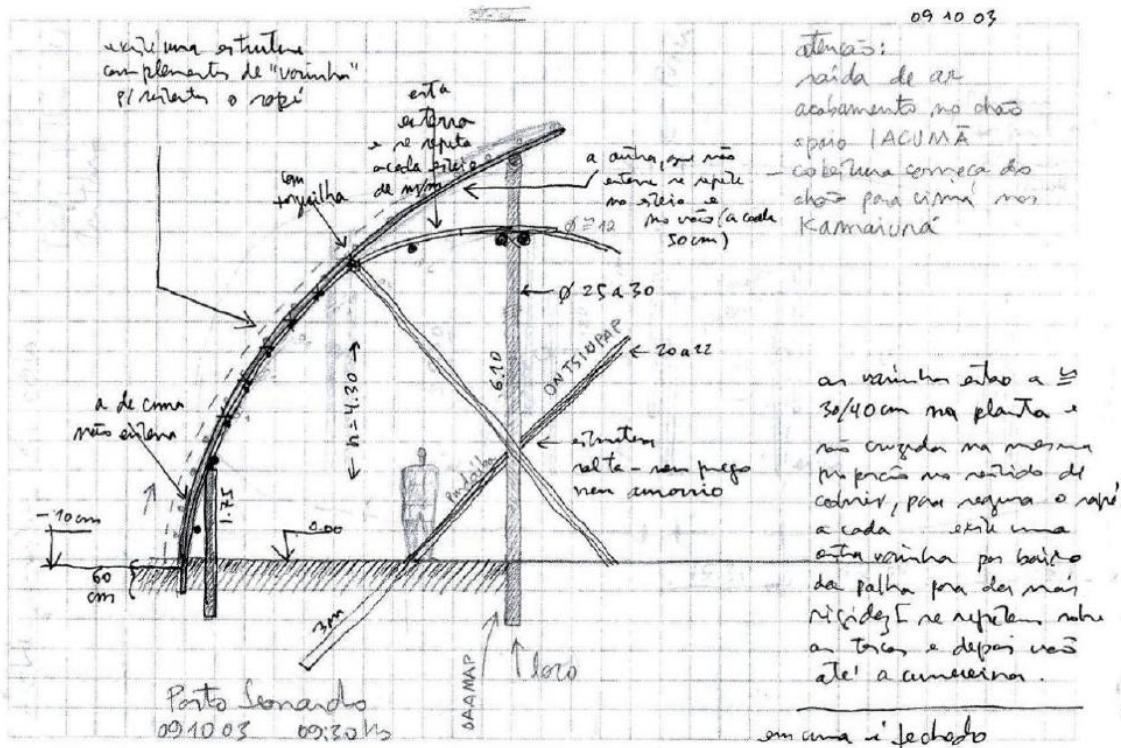
8.1 ANÁLISE ESTRUTURAL NA ARQUITETURA INDÍGENA

A análise do comportamento estrutural da arquitetura de algumas etnias indígenas brasileiras já é tema de algumas pesquisas no Brasil. Portocarrero (2018), por exemplo, faz uma análise minuciosa do comportamento estrutural da maloca xinguana do povo Yawalapiti.

Segundo Portocarrero (2018), o esquema estrutural garante à edificação estabilidade lateral, resistindo aos efeitos da força do vento e possibilitando o elevado pé direito, primordial para o depósito de alimentos e para o conforto térmico da casa. O autor observa também que a trama criada pela disposição das peças estruturais e da palha forma um efeito de casca e enrijece a estrutura como um todo (Figura 101).

Contudo ainda não existem trabalhos que focam no uso das ferramentas BIM de análise estrutural voltados a compreensão do comportamento estrutural da arquitetura indígena.

Figura 101 — Croqui demonstrando o esquema de travamento em X da estrutura



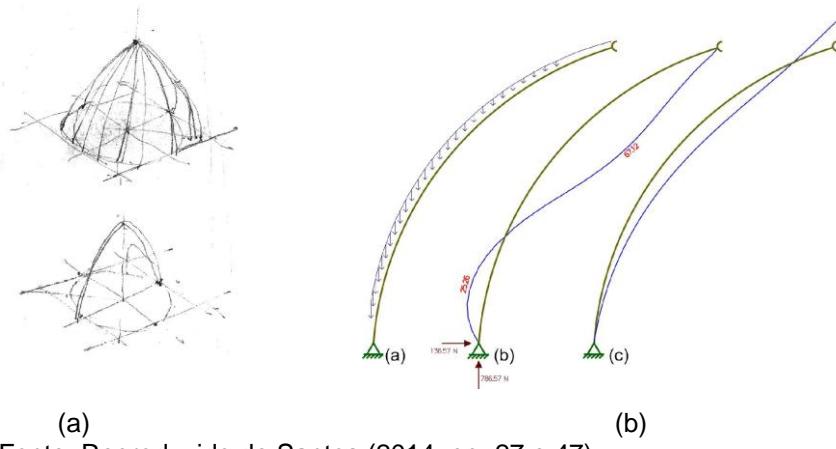
Fonte: Reproduzido de Portocarrero (2018).

O comportamento estrutural pode ser analisado pela ótica da matemática, mas não se limita a ela, vai muito além de números e equações. Santos (2014) entende a casa de forma qualitativa e subjetiva com foco no comportamento estrutural. O autor analisa o surgimento da tipologia estrutural da casa Xavante e faz uma relação direta em que atribui à vara de pescar a ideia motriz dessa tipologia.

Nessa pesquisa, Santos (2014) optou, para melhor entender os esforços desenvolvidos na casa Xavante, por uma análise computacional feita no programa Ftool. Trata-se de um programa de cálculo de estruturas bidimensionais, compostas por barras retas desenvolvido na Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio). O objetivo principal desse software visa entender a estrutura, e não propriamente dimensioná-la.

A simplificação leva ao modelo e, então, à compreensão e à resolução do problema. O trabalho de Santos (2014) segue pelo caminho da compreensão preliminar da estrutura da casa Xavante a partir de modelos bidimensionais como mostrado a seguir (Figura 102).

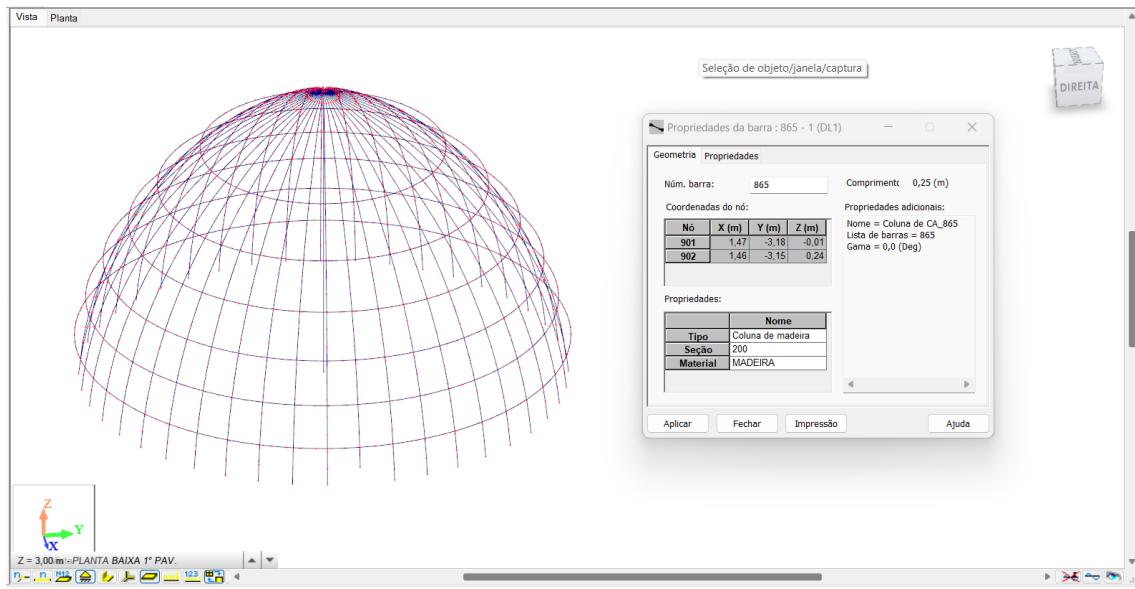
Figura 102 — Análise Estrutural da Casa Xavante: (a) Esquema de pórticos (b) Diagramas estruturais analíticos



Fonte: Reproduzido de Santos (2014, pp. 27 e 47).

Santos (2014) alerta em sua pesquisa que, devido à pouca informação disponível, os coeficientes de mola foram todos estimados por um método alheio às características singulares apresentadas por esta estrutura, provocando desvios nos resultados. Por fim, Santos (2014) conclui que não é possível assumir a análise estrutural realizada como absolutamente verdadeira. Para o autor, o sistema estrutural da casa Xavante é demasiadamente complexo para ser analisado apenas por modelos bidimensionais. Nesse sentido, a continuação da presente pesquisa terá como um dos objetivos a análise e o entendimento estrutural da arquitetura indígena do povo Xavante a partir de modelos tridimensionais HBIM, exportados para o software Robot com interface direta para o Revit (Figura 103).

Figura 103 — Análise estrutural da casa Rí: Modelo de barras exportado do Revit para o software Autodesk Robot®



Fonte: Autor.

Como continuidade do estudo, as próximas etapas consistem principalmente na documentação BIM 4D, ou seja, a simulação, a análise e o registro do processo construtivo dessas edificações ao longo do tempo, como forma de preservação desse conhecimento, trazendo a dimensão do imaterial para a preservação do patrimônio arquitetônico indígena pela tecnologia HBIM.

8.2 HBIM PARA ANÁLISE ESTRUTURAL EM MADEIRA

A aplicação de um material, seja ele qual for, como elemento estrutural e construtivo, está totalmente ligada aos padrões e tradições culturais de uma sociedade. No Brasil, o uso dos materiais tem diferentes cronologias de desenvolvimento e não existe ao longo da história pós-colonial, ainda que por um breve período, um momento de utilização em larga escala da madeira, esse material tão abundante no país.

Na maioria dos casos, o uso da madeira esteve associado a uma aplicação simples, sem tecnologia envolvida e sujeita muitas vezes às grandes barreiras socioeconômicas. A presença da madeira na construção civil sempre esteve associada ao uso rural ou à arquitetura de ocupação espontânea das classes mais baixas. Apesar de ser um material abundante, a madeira ainda é pouco utilizada enquanto material construtivo com protagonismo na construção civil (Bessa, 2018).

Souza (2002) defende que, do ponto de vista ambiental, a utilização da madeira tem muita importância por se tratar de matéria prima renovável, principalmente se comparado o tempo de renovação com os demais recursos naturais. Souza (2002) afirma que se trata de um engano a ideia da não utilização da madeira por preocupações ambientais.

A pesquisa de Souza (2002) tem um caráter de incentivo ao uso da madeira enquanto matéria prima e mostrou que o Brasil já vinha avançando no sentido da exploração da madeira enquanto material por meio do manejo sustentável.

Entretanto, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), unidade vinculada ao Ministério de Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), concluiu em um estudo de 2021 a estimativa da taxa de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira (ALB). O INPE estimou uma área de desmatamento de 13.235 km² de corte raso no período de 1º agosto de 2020 a 31 julho de 2021. Esse valor representou, à época, um aumento de 21,97% em relação à taxa de desmatamento apurada pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES) em 2020.

Diante dessa situação, as políticas de reflorestamento e manejo florestal devem ser apoiadas e efetuadas para que a madeira possa ser usada com segurança e de maneira sustentável, em todo seu potencial, pela indústria brasileira.

Segundo dados da Organização Ambiental Internacional WWF, a indústria da construção civil é uma das atividades humanas que mais consome recursos naturais. Estudos apontam que entre 40% e 75% dos recursos existentes são consumidos por esse setor no mundo. No Brasil, a construção civil gera cerca de 25% do total de resíduos da indústria e 60% do lixo sólido das cidades. Com relação à emissão de gás carbônico e à chamada pegada de carbono, a cadeia produtiva da construção também contribui em grande parte.

De acordo com a organização United Nations Environment Program (UNEP), as construções são responsáveis por 40% do consumo global de energia e por até 30% das emissões globais de gases de efeito estufa (GEEs) ligadas ao consumo de energia.

Ao mesmo tempo, no Brasil, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), existe um déficit habitacional de 6,198 milhões de famílias vivendo em residências precárias e improvisadas. Estudos da Fundação Getúlio Vargas (FGV)

estimam que são necessários investimentos da ordem de R\$ 76 bilhões ao ano para promover políticas públicas sérias que ofereçam moradias dignas para a população.

Assim, a construção civil terá que colocar como pauta principal da agenda as mudanças tanto no processo de concepção e implementação de edifícios como na operação desses empreendimentos. Diante de tanto desequilíbrio ecológico e do cenário desastroso do uso de recursos naturais, é preciso reinventar as técnicas construtivas e sua relação com o uso de recursos naturais.

É necessário que a sociedade avance e evolua para construções mais inteligentes, limpas, que utilizem matérias primas renováveis e materiais atóxicos e que levem em conta a gestão de resíduos e a eficiência no uso dos recursos naturais, água e energia, além da redução de emissões de CO₂. O uso de sistemas construtivos em madeira, principalmente aqueles com alta tecnologia agregada, mostra-se uma boa solução.

O uso da madeira como material estrutural no Brasil ainda é pouco relevante se comparado ao potencial de utilização desse material, tendo em vista o enorme número de espécies existentes no país e o conhecimento popular em torno desse material ao longo de séculos de uso na arquitetura vernacular.

Contudo, mesmo com esse conhecimento desenvolvido ao longo de séculos acerca do uso de um material tão potente e tão abundante, o uso da madeira como elemento construtivo e estrutural no Brasil ainda é pequeno se comparado a alguns países que nem possuem um quadro tão favorável ao uso da madeira.

Na Europa, são catalogadas pouco menos de 20 espécies de madeiras e o uso intensivo desse material na construção já ocorre há muitos séculos. Já no Brasil, onde os biólogos estimam existir mais de 3.000 espécies, o uso da madeira como elemento estrutural ainda é muito reduzido, limitando-se a algumas casas de alto padrão e arquitetura residencial vernacular urbana em sua maioria (Bessa, 2018).

Portanto, para o uso de madeira tropical em estruturas ou outra função, mesmo que não estrutural, é preciso conhecer e dominar bem suas propriedades físicas, mecânicas e os aspectos tecnológicos do uso desse material. A situação real atual é que a grande maioria das espécies de madeira da Amazônia não foram sequer identificadas. Ainda não existe no Brasil, um meio técnico expressivo, uma utilização considerável e regulamentada da madeira, com formação e capacitação suficiente que possa fomentar o seu uso na indústria da AECO.

Frente a essa situação, o uso da madeira hoje em dia na construção civil se restringe apenas a funções secundárias e não estruturais como escorras, formas, dormentes, escoramentos e revestimentos, por exemplo, além de outros usos menos importantes.

Para que a madeira tenha um uso mais nobre enquanto material estrutural e construtivo é necessário que se tenha estudos e pesquisas com processo de caracterização e classificação das espécies e suas aplicações. Porém existe uma diferença entre fazer esse trabalho com pouco menos de 20 espécies e com três mil espécies diferentes.

O conhecimento milenar dos povos originários acerca das técnicas construtivas utilizando madeira, pode ajudar nessa tarefa, porém não aparece como fonte de linhas de pesquisa acadêmicas nessa área no Brasil. As tecnologias e saberes ancestrais dos povos indígenas acerca da utilização da madeira como material construtivo devem ser preservados e compreendidos como suporte nesse processo.

Para Valle et al. (2012), conhecer as propriedades físicas da madeira é de grande importância, pois estas propriedades influenciam significativamente no desempenho e resistência da madeira quando aplicada estruturalmente.

Conforme Valle et al. (2012), podemos destacar os seguintes fatores que influem nas características físicas da madeira: 1) espécie da árvore; 2) o solo e o clima da região de origem da árvore; 3) fisiologia da árvore; 4) anatomia do tecido lenhoso; e 5) variação da composição química.

Valle et al. (2012) mostram que a correta identificação botânica de árvores retiradas de florestas nativas é de suma importância, pois permite o conhecimento das características biofísicas da madeira associadas à sua espécie. Este conhecimento é fundamental para a especificação técnica correta deste material na construção.

Da Silva (2008), em sua tese de título “Metodologia de análise e diagnóstico da madeira na preservação do patrimônio histórico”, mostra a importância da análise e do diagnóstico de estruturas históricas de madeira para contribuir com a preservação do patrimônio arquitetônico brasileiro em madeira.

Segundo Da Silva (2008), a conservação do patrimônio arquitetônico em madeira no Brasil se torna ainda mais complicada pelas ações de agentes externos ligados ao clima tropical. Nesse estudo, para o entendimento do desempenho da madeira e da ocorrência de degradações, a autora elenca as propriedades físicas de

densidade e umidade; além das propriedades mecânicas de resistência à compressão, à tração, à torção, ao cisalhamento, à penetração e à flexão.

Segundo Richter e Burger (1991, *apud* Da Silva, 2008), a propriedade física densidade de massa refere-se à composição química e ao volume de matéria lenhosa com relação ao peso. Deriva desses valores a classificação das madeiras, como também as avaliações das propriedades físicas e mecânicas, fundamentais à sua utilização.

Para Da Silva (2008), não se pode considerar um valor único e constante a dada espécie de madeira, já que a densidade de massa recebe diversas influências internas e externas (o solo, o clima, a umidade, entre outros). Normalmente, as madeiras mais densas são mais resistentes que as leves; no entanto, podem apresentar maior variabilidade e dificuldade em seu processamento.

Bessa (2018) aplica o chamado método da densidade básica para simplificar o processo de dimensionamento de estruturas de madeira a partir de uma única propriedade física do material, a densidade. Bessa formula uma proposta que se constitui uma nova ferramenta a ser aplicada aos projetos de estruturas de madeira tropical.

A tecnologia BIM pode ser uma grande aliada desse processo de incentivo ao uso da madeira como material versátil, de fonte renovável, agregado à tecnologia e sustentável. O processo de análise do comportamento estrutural em edificações de madeira da arquitetura indígena brasileira pode ser uma peça importante no entendimento das soluções e tipologias estruturais adotadas por esses povos, como forma de entendimento e documentação das técnicas construtivas e da aplicação da madeira como material estrutural em um contexto de clima tropical.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA F. W.; YAMASHITA, A. C. **Arquitetura Indígena**. Volume 2, 1986.

AMORIM, A. L. A documentação arquitetônica como uma atividade Multi, Inter e Transdisciplinar. **Ponto de Acesso**, v. 11, p. 61–84, abr. 2017.

ANDRADE, L. M. S. DE et al. **Guia da Arquitetura Vernacular Kalunga: difusão e preservação dos saberes tradicionais**. 1. ed. Brasília: LaSUS FAU, 2023.

ARAÚJO, A. F. et al. Topologias e tipologias arquitetônicas. **Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo**, n. 15, 31 dez. 2015.

ASSIS, W. F. T. DO COLONIALISMO À COLONIALIDADE: expropriação territorial na periferia do capitalismo. **Caderno CRH**, v. 27, n. 42, p. 613–627, 2014.

BALLESTRIN, L. América Latina e o giro decolonial. **Revista Brasileira de Ciência Política**, nº 11, p. 89–117, 2013.

BENNET, W. **Handbook of South American Indians -Part 1 - Habitations**. Bureau of American Ethnology, 1949. v. 5

BESSA, M. A. S. **Dimensionamento de estruturas de madeira tropical utilizando a densidade básica - Madeira seca**. Universidade de Brasília, 2018.

BIALOSTOCKA, O. Colonized by the development discourse: life and living heritage in the shadow of antiquities. **Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development**, v. 11, n. 1, p. 109–120, 18 jan. 2021.

BONFANTE, G.; HELENE, D. A casa, a metafísica referencial e a descolonização ideológica da arquitetura e do urbanismo. **Periódicus Revista de Estudos Indisciplinares em Gêneros e Sexualidades**, v. 18, n. 1, 2022.

BOTELHO MALHANO, H.; HELOFSA FÉNELON COSTA, M. **Habitação Indígena Brasileira**. 1. ed. Petrópolis: Ed. Vozes, 1986.

BRUMANA, R. et al. **Hbim level of detail-geometry-Accuracy and survey analysis for architectural preservation.** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. *Anais...*Copernicus GmbH, 4 maio 2019.

CÂMARA BRASILEIRA DE INDUSTRIA E CONSTRUÇÃO. **Implementação BIM Parte 2 Implementação do BIM para Construtoras e Incorporadoras.** Brasília: 2016.

CANUTO, C. L.; SALGADO, M. S. **Modelagem da Informação da Construção na Preservação da Arquitetura Moderna Arquitetura.** XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. *Anais...*São Paulo: nov. 2016. Disponível em:
[<https://www.researchgate.net/publication/322699200>](https://www.researchgate.net/publication/322699200)

CASTRIOTA, L. B. **Patrimônio Cultural: Conceitos, políticas instrumentos.** Belo Horizonte: 2009.

CERNICCHIARO, A. C. A poética indígena como resistência: por uma abertura na literatura brasileira. **Crítica Cultural**, v. 15, 2020.

CHAVES, C.; GALVÃO, F.; GALVÃO, P. **HBIM E ARQUITETURA MODERNA: PROTOCOLO PARA DOCUMENTAÇÃO HBIM and Modern Heritage: protocol for documentation.** 2020.

CHOAY, Françoise. **A Alegoria do patrimônio.** São Paulo: Martins Fontes, 2002.

COGIMA, C. K. et al. Scan-to-HBIM aplicado à igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 15, n. 1, p. 117–134, 17 jan. 2020.

CONSTITUIÇÃO. **Constituição da República Federativa do Brasil.** 1988.

COSTA, H. A. et al. **Modelagem BIM para o registro digital do patrimônio arquitetônico moderno.** 2021.

COSTA, M. H. F.; MALHANO, H. B. **Tecnologia Indígena.** Em: RIBEIRO, D.; RIBEIRO, B. (Eds.). **Suma Etnológica Brasileira.** v. Vol. 2p. 27–92. 1986.

CRAMER, JOHANNES.; BREITLING, STEFAN. **Architecture in existing fabric : planning, design, building.** Birkhäuser, 2007.

CUNHA, C. D. R. E. Alois Riegl e “O culto moderno dos monumentos”. **Revista CPC**, v. 1, p. 6–16, 2006.

CUNHA, C. DOS R. E. Alois Riegl e “O culto moderno dos monumentos”. **Revista CPC**, v. 1, p. 6–16, maio 2006.

CUPERSCHMID, A. R. M.; FABRICIO, M. M.; FRANCO, J. C. Hbim development of a brazilian modern architecture icon: Glass house by lina bo bard. **Heritage**, v. 2, n. 3, p. 1927–1940, 1 set. 2019.

DA SILVA, A. A. **A organização espacial A'uwe-Xavante: Um olhar qualitativo sobre o espaço.** Universidade Estadual Paulista, 2006.

DA SILVA, J. B. **Metodologia de análise e diagnóstico da madeira na preservação do patrimônio histórico.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.

DERITTI, M. D.; FREIRE, F. INTEROPERABILIDADE ENTRE APlicativos BIM UTILIZANDO MODELO DE DADOS “NÃO-PROPRIETÁRIO” IFC. **Revista Técnico Científica do CREA-PR**, 2019.

DHANDA, A. et al. **RECREATING CULTURAL HERITAGE ENVIRONMENTS for VR USING PHOTOGRAmmETRY.** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Anais...Copernicus GmbH, 31 jan. 2019.

DORE, C. et al. **Structural Simulations and Conservation Analysis-Historic Building Information Model (HBIM).** 2014.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R. **Bim Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 2. ed. Wiley Publishing, 2008.

ENGLAND, H. **Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice.** Swindon: 2017.

ENGLISH HERITAGE. **Understanding Historic Buildings: A Guide to Good Recording Practice.** 2006.

ESCOLA DA CIDADE; POVO KAMAYURÁ. **Manual de Arquitetura Kamayura.** Escola da Cidade. São Paulo: 2019.

FAI, S.; FILIPPI, M.; PALIAGA, S. PARAMETRIC MODELLING (BIM) FOR THE DOCUMENTATION OF VERNACULAR CONSTRUCTION METHODS: A BIM MODEL FOR THE COMMISSARIAT BUILDING. 2013.

FILHO, J. S.; JANUÁRIO, E. **Os marcadores de tempos indígenas e a etnomatemática: a pluralidade epistemológica da ciência.** Unicamp 2011.

GRAHAM, K.; CHOW, L.; FAI, S. Level of detail, information and accuracy in building information modelling of existing and heritage buildings. **Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development**, v. 8, n. 4, p. 495–507, 13 nov. 2018.

GRIGOLETO, M. C. **Informação e Documento: Expressão material no patrimônio.** Ribeirão Preto: p. 57 – 69. Ribeirão Preto, 2012.

GROETELAARS, N. J. **CRIAÇÃO DE MODELOS BIM A PARTIR DE “NUVENS DE PONTOS”: ESTUDO DE MÉTODOS E TÉCNICAS PARA DOCUMENTAÇÃO ARQUITETÔNICA.** Salvador: UFBA, 2015.

GROETELAARS, N. J.; LEÃO DE AMORIM, A. **Dense Stereo Matching (DSM): conceitos, processos e ferramentas para criação de nuvens de pontos por fotografias.** SIGraDI. Anais...2012. Disponível em: <www.hypr3d.com>

GUERREIRO, A. R.; BRASÍLIA, J. **ANCESTRAIS E SUAS SOMBRAS Uma etnografia da chefia kalapalo e seu ritual mortuário.** Brasília: UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, 2012.

HANKE, K.; GRUSSENMEYER, P.; STREILEIN, A. Architectural Photogrammetry: Basic theory, Procedures, Tools. Em: **Digital Photogrammetry.** Corfu: Taylor e Francis, 2002. p. 300–339.

HISTORIC ENGLAND. **BIM for Heritage Developing a Historic Building Information Model.** Swindon: [s.n.]. Disponível em: <<https://historicengland.org.uk/advice/technical-advice/recording-heritage/>>.

HISTORIC ENGLAND. **Photogrammetric Applications for Cultural Heritage. Guidance for Good Practice.** Swindon: 2017.

IPHAN. **Patrimônio Cultural**. Disponível em: <<http://portal.iphan.gov.br/pagina/detalhes/218>>. Acesso em: 30 nov. 2022.

JANUÁRIO, E. A origem do cesto Xavante. **Gazeta Digital**, 2016. Disponível em: <https://www.gazetadigital.com.br/articulistas/sexta-feira/elias-januario/a-origem-do-cesto-entre-os-xavante/469535> Acesso em Outubro de 2024.

JIANG, Y. et al. Development and application of an intelligent modeling method for ancient wooden architecture. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 3, 2020.

KOPENAWA, D.; ALBERT, B. **A queda do céu: Palavras de um Xamã Yanomami**. 1. ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2015.

KRENAK, A. **Ideias para adiar o fim do mundo**. 1^a ed. São Paulo: Companhia das Letras, 2019.

KUHL, B. M. **Notas sobre a Carta de Veneza**. São Paulo: 2010.

KUHL, B. M. Françoise Choay: Proposições sobre autenticidade. **Paranoá**, n. 35, p. 1–14, 11 set. 2023.

LEAL, B. G. Fotogrametria de dólmens: Linhas orientadas para a aquisição de imagens. **Scientia Antiquitatis**, v. 1, 2022.

LOPES, A. **História dos índios no Brasil: Dois séculos e meio de história Xavante**. 2^a ed. Companhia das Letras, 1992. v. 1

MELATTI, D. M.; MELATTI, J. C. A Maloca Marúbo: Organização do espaço. **Revista de Antropologia** 29, Universidade de Brasília, 1986.

MESSNER, J. et al. **Building Information Modeling Project Execution Planning Guide**. Penn State Architectural Engineering, 2011.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. **Parametric Vector Modelling of Laser and Image Surveys of 17th Century Classical Architecture in Dublin.** 8th International Symposium on Virtual Reality, Archeology and Cultural Heritage VAST. *Anais...*2007.

MURPHY, M.; MCGOVERN, E.; PAVIA, S. Historic building information modelling (HBIM). **Structural Survey**, v. 27, n. 4, p. 311–327, ago. 2009.

NAZOKEMAI, P.; PEREIRA, L. ARQUITETURA INDÍGENA HATI: A casa Haliti Paresi. In Revista de Comunicação Científica – RCC, Jan./Maio, Vol. I, n. 7, pgs. 73-79, 2021.

NETO, J. D. P. **No país dos Cinta Larga: Uma etnografia do ritual.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1991.

NOGUEIRA, F. M. DE S. **Reconstrução Digital: Narrativas Virtuais e um novo lugar para a memória.** Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2023.

NOVAES, S. C. **Habitacões Indígenas.** São Paulo: 1983.

OLIVEIRA, A. DE. **Casas sagradas Aruak & Tukano: arquitetura clássica do noroeste amazônico.** Manaus: UFAM - Universidade Federal do Amazonas, 2007.

ORENI, D. et al. **Hbim for conservation and management of built heritage: Towards a library of vaults and wooden bean floors.** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. *Anais...*Copernicus GmbH, 30 jul. 2013.

ORENI, D. et al. **Survey turned into HBIM: The restoration and the work involved concerning the Basilica di Collemaggio after the earthquake (L'Aquila).** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. *Anais...*Copernicus GmbH, 28 maio 2014.

PISELLI, C. et al. An integrated HBIM simulation approach for energy retrofit of historical buildings implemented in a case study of a medieval fortress in Italy. **Energies**, v. 13, n. 10, 1 maio 2020.

PORTOCARRERO, J. A. B. **Tecnologia Indígena em Mato Grosso.** 2. ed. Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2018. v. 1

PRAIA, P. **A Plataforma BIM na compatibilização de projetos de arquitetura e estrutura: Estudos de Caso.** Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2016.

QUIJANO, A. Colonialidade do poder, Eurocentrismo e América Latina. Em: CLACSO, C. L. DE C. S. (Ed.). **A colonialidade do saber: eurocentrismo e ciências sociais. Perspectivas latino-americanas.** Buenos Aires: 2005.

REINA ORTIZ, M. et al. **THREE DOCUMENTATION SCENARIOS for the LONG-TERM PRESERVATION of DECORATED SURFACES in the CHURCH of KUÑOTAMBO, PERU.** ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. **Anais...** Copernicus GmbH, 10 set. 2021.

SÁ, C. **Aldeia São Marcos: Transformações na habitação de uma comunidade Xavante.** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1982.

SALLES, S. G. DE; FEITOSA, S. F.; LACERDA, R. F. Patrimônio cultural indígena: desafios para uma educação patrimonial decolonial. **Roteiro**, v. 44, n. 2, 2019.

SANTANA, E. P.; GROETELAARS, N. J. **NORMATIZAÇÃO APLICADA AO HBIM.** Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/372103781>>. 2022.

SANTOS, P. P. F. DOS. **ARQUITETURA VERNÁCULA E SEU COMPORTAMENTO ESTRUTURAL A CASA XAVANTE.** Brasília: Universidade de Brasília, 2014.

SCHLEE, A. R. **A contribuição dos arquitetos para o estudo da morada indígena.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ibge.br>>.

SCHUMACHER, P.; ZHENG, L.; KAI, C. From Typology to Topology: Social, Spatial, and Structural. **Architectural Journal**, 2017.

SILVA, A. A. DA. **A organização espacial A'uwẽ-Xavante: Um olhar qualitativo sobre o espaço.** Rio Claro, SP: Universidade Estadual Paulista, 2006.

SILVA, F. B. L. DA; CUPERSCHMID, A. R. M. HBIM e mapa de danos. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 13, p. e022003, 1 jan. 2022.

SILVA, L. S. et al. **Fotogrametria com imagens adquiridas com drones**. Brasília: v. 1, 2022.

SIMEONE, D. et al. **B(H)IM-Built Heritage Information Modelling Extending BIM approach to historical and archaeological heritage representation**. 2018. Disponível em: <<http://www3.dicea.uniroma1.it>>.

SMITH, L.; QUINTERO, M. S. **Digital workflows for the conservation and sustainability of historic places**. *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development* Emerald Group Holdings Ltd., 13 nov. 2018.

SOUZA, M. H. DE. **Madeiras Tropicais Brasileiras**. 2. ed. 2002.

TAVARES, P. **Memória da terra: Arqueologias da ancestralidade e da despossessão do povo Xavante de Marãiwatsédé**. MPF, Brasília: 2020.

TOLENTINO, M. M. A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia. Salvador: 2018

TRONCARELLI, R. C. **ARQUITETURA-INDÍGENA-XINGUANA-UM-ESTUDO-DAS-REPRESENTAÇÕES. ICHT N° 3**, 2019.

TSERESHIRU, X. O POVO XAVANTE E SUA LUTA POR UM SISTEMA DE ENSINO DE QUALIDADE DIFERENCIADA. **Pathos: Revista brasileira de práticas e psicopatologia**, v. 09, maio 2019.

UNESCO. **Convenção para a Proteção do Patrimônio Mundial, Cultural e Natural**. Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura. **Anais...**Paris: 1972.

UNESCO. **Convenção para a Salvaguarda do Patrimônio Cultural Imaterial**. Conferência Geral da Organização das Nações Unidas para Educação, a Ciência e a Cultura. **Anais...**Paris: 2006.

UNESCO. **INDIGENOUS SAFEGUARDING ARCHITECTURE IN VANUATU** Disponível em: <<http://www.unesco.org/open-access/terms-use-ccbysa-en>>.

URSINI, A. et al. From scan-to-BIM to a structural finite elements model of built heritage for dynamic simulation. **Automation in Construction**, v. 142, p. 104518, 1 out. 2022.

VALLE, Â. DO et al. **ESTRUTURAS DE MADEIRA**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012.

VICTORIO, T. C.; GROETELAARS, N. J. **Documentação digital do patrimônio artístico: Proposta de metodologia de baixo custo para acervo de esculturas em terracota do museu de arte sacra –** Universidade federal da Bahia. Salvador, 2019.

VIEIRA, P. H. **MUNDO E HUMANIDADE NO ANTROPOCENO:ENTRE COSMOPOLITISMO E COSMOPOLÍTICA**. 2019.

WAIKYOHERA, H.-P. **Plano de Gestão Haliti-Paresi**. Mato Grosso, 2019.

WALDHÄUSL, P.; OGLEBY, C. **3x3 Rules for simple photogrammetric documentation of architecture**. 1994.

WALSH, C. **Pensamiento Crítico y Matriz (De)Colonial Reflexiones Latinoamericanas**. Abya-Yala ed. Quito: Universidad Andina Simon Bolívar, 2005.

WALSH, C. **Interculturalidad crítica y educación intercultural**. 2009.

YANG, X. et al. HBIM modeling from the surface mesh and its extended capability of knowledge representation. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 8, n. 7, 15 jul. 2019.

YANG, X. et al. Review of Built Heritage Modelling: Integration of HBIM and Other Information Techniques. **Journal of Cultural Heritage**, v. 46, 2020.

YOUN, H. C.; YOON, J. S.; RYOO, S. L. HBIM for the characteristics of korean traditional wooden architecture: Bracket set modelling based on 3D scanning. **Buildings**, v. 11, n. 11, 1 nov. 2021.

ZHANG, T.; XU, H.; WANG, C. Self-adaptability and topological deformation of Ganlan architectural heritage: Conservation and regeneration of Lianghekou Tujia village in Western Hubei, China. **Frontiers of Architectural Research**, v. 11, n. 5, p. 865–876, 1 out. 2022.