

Exploring HBIM-GIS Convergence: Integrative Perspectives for Pampulha Cultural Landscape.

Rafael Fernandes Dionizio¹, Eloisa Dezen-Kempter²

¹ Universidade Estadual de Campinas, Limeira, Brasil.
r200299@dac.unicamp.br

Abstract. Challenges in the documentation, evaluation, preservation, and management of architectural heritage, including cultural landscapes, are complex due to historic buildings' unique characteristics and cultural value. Integrating Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information Systems (GIS) has emerged as a solution to overcome these challenges. This study focuses on managing Oscar Niemeyer's Pampulha Complex using the integration of Historic Building Information Modeling (HBIM) and GIS to evaluate its effectiveness in heritage management. Photogrammetry, 3D scanning, and semantic modeling allowed a thorough understanding of the architectural features of historic buildings. However, data loss and the need to establish standards are challenges to overcome for effective integration. The results demonstrate that interoperability between BIM and GIS is essential for successfully managing this heritage, allowing detailed analysis and efficient conservation of the historical and cultural features of the Pampulha protection area.

Keywords: Cultural Heritage, Management, Geodatabase, HBIM.

1 Introdução

1.1 Tecnologias contemporâneas aplicadas ao Patrimônio Cultural.

A gestão do patrimônio, conforme destacado por Dezen-Kempter et al. (2021) e Vacca et al. (2018), requer tecnologias avançadas como o Building Information Modeling (BIM) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para atividades como manutenção, restauro, preservação e documentação, devido à importância histórica e às características construtivas distintas desses bens em relação às construções convencionais.

Essa complexidade se amplia quando se trata de patrimônio arquitetônico em paisagens culturais, definidas por Nascimento & Scifoni (2010) como composições de elementos arquitetônicos integrados por características sociais e culturais. O uso de tecnologias como BIM e SIG oferece benefícios substanciais. Sacks et al. (2018) previram a evolução do BIM com a integração do Historic Building Information Modeling (HBIM),

proposto por Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2007). O HBIM envolve varreduras digitais para modelagem precisa e a inclusão de informações históricas específicas, tornando-o uma representação fiel do patrimônio cultural.

O surgimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) no Canadá na década de 1960 foi impulsionado por preocupações sobre a gestão de recursos naturais, tanto de iniciativas públicas quanto privadas (Tomlinson, 1998). Atualmente, os SIG são amplamente utilizados para análises georreferenciadas em diversos contextos (Dangermound & Goodchild, 2020). Além disso, os SIG evoluíram para incluir a integração de dados do Building Information Modeling (BIM) (Vacca et al., 2018; Baik et al., 2019).

A integração entre BIM e SIG, conforme apontado por Trisyanti et al. (2019), requer esforços adicionais devido a desafios de interoperabilidade entre softwares e diferenças nas normas e semântica utilizadas. A falta de enriquecimento semântico estruturado no modelo BIM pode dificultar a integração HBIM-SIG. Encontrar soluções para uma integração eficiente é crucial, especialmente para a gestão do patrimônio arquitetônico e cultural.

Vacca et al. (2018) enfatizam a importância da adoção generalizada do formato .IFC para aprimorar a interoperabilidade e troca de dados BIM entre diferentes softwares, o que impulsiona a colaboração nos setores de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). Recomenda-se estruturar dados e metadados para melhor visualização, revisão e edição, garantindo padronização e conversão eficaz, minimizando perda de informações ao transitar de um formato de compartilhamento de dados BIM para um formato de compartilhamento de dados SIG.

Para facilitar a integração bem-sucedida entre HBIM e SIG, software conversor, como o FME, mencionado por Vacca et al. (2018) e Baik (2015), é uma alternativa que permite o compartilhamento e análise de dados entre modelos geoespaciais e de construção.

Este artigo apresenta resultados de duas experiências integrativas de HBIM-SIG para obras de arquitetura moderna, como a Igreja São Francisco de Assis (ISFA), o Museu de Arte da Pampulha (MAP), o late Tênis Clube (ITC) e a Casa de Baile (CB), todos projetados por Oscar Niemeyer entre 1943 e 1944. Estas edificações são exemplos notáveis da arquitetura moderna nacional e mundial e fazem parte do o Conjunto Moderno da Pampulha (CMP), nomeado com patrimônio da humanidade em 2016 pela UNESCO. Partindo-se da hipótese de que o modelo HBIM-SIG pode ser um novo formato de documentação digital para as atividades de manutenção e preservação, ao fornecer informações relevantes e estruturadas que apoiam a gestão do patrimônio, especificamente no contexto de Paisagem Cultural. Com o objetivo de integrar HBIM-SIG, foram investigadas as formas de integração

direta e utilizando um software integrador de dados aplicado ao modelo HBIM-SIG para capturar, organizar e visualizar dados 3D em um ambiente SIG. A abordagem integrativa HBIM-SIG busca fornecer uma estrutura digital replicável para a preservação e gestão eficaz do patrimônio arquitetônico durante as atividades de manutenção e documentação.

1.2 Nível de detalhamento com dados históricos.

Para uma interoperabilidade eficiente no contexto do Historic Building Information Modeling (HBIM), é crucial definir o nível de detalhamento (LOD) e enriquecer semanticamente o modelo. Castellano-Román & Pinto-Puerto (2019) introduziram quatro níveis de conhecimento (LOK100, LOK200, LOK300 e LOK400) como uma evolução do LOD para Edificações Históricas, enfatizando sua utilidade para fornecer informações abrangentes sobre edifícios históricos.

Neste estudo, as edificações ITC e MAP foram modeladas com LOD200, focando na parte externa e elementos básicos. Isso atende aos requisitos de proteção legal do patrimônio e planejamento urbano (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019). Para as edificações CB e ISFA, foi adotado o LOD400, oferecendo detalhes precisos para fabricação e suporte a atividades de construção e manutenção, enquanto o LOK400 contribui para a conservação e gestão do patrimônio cultural (Castellano-Román & Pinto-Puerto, 2019).

2 Metodologia

2.1 Planejamento e execução

Foram adotadas duas abordagens para melhorar a integração entre o Historic Building Information Modeling (HBIM) e os Sistemas de Informação Geográfica (SIG): a primeira integrou diretamente o modelo HBIM do software Revit 2023 ao SIG 3D ArcGIS 3.1 (Dezen-Kempter et al., 2021; Vacca et al., 2018). A segunda utilizou o software FME 2023.0 para converter e integrar dados do formato IFC para Geodatabase (GDB) antes de serem incorporados ao ArcGIS em uma camada 3D, seguindo a metodologia proposta por Vacca et al. (2018) e Trisyanti et al. (2019). Essas abordagens ampliaram o processo Scan-To-HBIM, dividindo-o em quatro etapas principais: captura de dados, aquisição, modelagem e integração HBIM-SIG. Vários edifícios foram digitalizados usando Laser Terrestre (TLS) Faro Focus3D X 130 e, no caso do ISFA, um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo Spark da DJI também

foi utilizado. Para edifícios MAP e ITC, dados 2D originais dos planos foram usados para a modelagem HBIM (Cogima et al., 2020). É importante notar que apenas o ISFA passou por digitalização híbrida com VANT e TLS, enquanto outros edifícios tiveram abordagens diferentes devido a restrições operacionais e de localização.

2.2 Estudo de caso: Patrimônio moderno do entorno da Pampulha.

De acordo com Bruand (1999), o Conjunto Moderno da Pampulha é composto por quatro edifícios projetados por Oscar Niemeyer entre 1942 e 1944, incentivado pelo prefeito Juscelino Kubitschek para desenvolver a cultura e arquitetura da região. Os quatro edifícios notáveis são a ISFA, CB, MAP e ITC, cada um apresentando características modernistas distintas. O conjunto é considerado modernista devido às suas características arquitetônicas, inspiradas nos cinco pontos de Le Corbusier, com formas orgânicas, linhas curvas e uso de concreto armado, integrando-se harmoniosamente ao ambiente natural circundante. Em 1947, a ISFA foi a primeira a ser tombada, seguida pelo conjunto completo em 1984 pelo Instituto Estadual do Patrimônio Histórico e Artístico de Minas Gerais (IEPHA) e em 1997 pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN), reconhecendo sua importância como patrimônio arquitetônico nacional. Em 2016, recebeu o título de Patrimônio Mundial da UNESCO, protegendo-o como símbolo histórico e cultural de valor universal (IPHAN, 2017).

2.3 Processo de modelagem da construção histórica.

Foi integrado o padrão estruturado OmniClass ao Revit para agregar informações detalhadas e identificar com precisão os componentes e materiais no processo de modelagem. O OmniClass segue o padrão internacional ISO 12006-2, permitindo o acompanhamento completo do ciclo de vida de uma construção, desde o projeto até a demolição. O sistema estruturado OmniClass é uma metodologia de classificação e categorização, que auxilia os usuários na organização de informações relacionadas a componentes, materiais e elementos de construção em software BIM.

Dentro do ambiente do Revit, pode-se atribuir códigos e categorias específicas aos elementos de construção no contexto do modelo BIM, proporcionando uma estrutura coerente e organizada. Além disso, foi enriquecido esses modelos exemplares da arquitetura moderna concebidos por Oscar Niemeyer com informações históricas detalhadas, o que amplia significativamente a compreensão e a contextualização da arquitetura moderna em nosso processo de design e documentação.

Para a modelagem do ITC e MAP, foi baseado em desenhos em 2D originais de Oscar Niemeyer. Durante a modelagem do MAP, foi enfrentado

longo trabalho manual ao criar famílias específicas para representar as colunas da edificação, que são divididas em três dimensões: 25, 20 e 17cm, respectivamente. Os pilotis da área externa possuem acabamento em concreto, enquanto os internos são revestidos com aço inoxidável.

Devido ao uso de formas orgânicas por Oscar Niemeyer, o processo de modelagem se tornou extenso e manual, exigindo a criação de famílias e componentes específicos, como colunas com materiais não convencionais e lajes e paredes curvas com diferentes níveis.

No ITC, as colunas têm formas ovais e medem 30x60 cm, com alturas variáveis ao serem anexadas à cobertura inclinada, exigindo longos trabalhos para criar e verificar seus níveis individualmente. O ITC apresenta singularidades, incluindo os brises que compõem a fachada principal. Cada brise possui dimensões diferentes, e optamos por utilizar a forma de extrusão para segui-las fielmente, já que o Revit não possui famílias específicas de brises-soleil.

A ISFA e CB são as únicas obras do CMP com estruturas orgânicas e plásticas como característica construtiva principal. Utilizar ferramentas manuais para a captura de dados comprometeria a confiabilidade e precisão desses dados, especialmente devido à complexidade do projeto. Para superar esse desafio, ampliou-se os estudos de Cogima *et al.* (2019), que adota o método Scan-TO-Hbim, dividido em três etapas principais, conforme ilustrado na Fig.1.

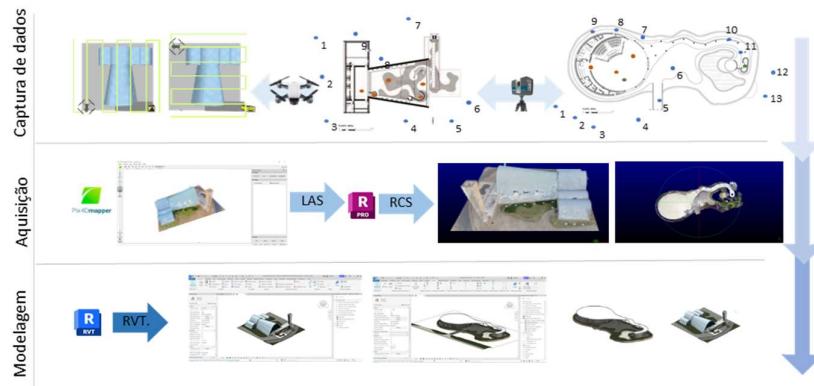


Figura 1. Fluxograma do método Scan-to-HBIM. Fonte: Autores, 2023.

Na nuvem de pontos em si, não estão contidas informações como atributos ou dados semânticos; ela representa apenas uma digitalização 3D. Para agregar inteligência a esses dados, foi utilizado o método HBIM, o qual

utiliza a nuvem de pontos como base para a modelagem da edificação histórica.

Na primeira etapa, foram coletados dados terrestres com o TLS. Para a obtenção de dados aéreos, utilizou-se o VANT. No CB, foi possível subir na cobertura para coletar dados com o TLS, enquanto na ISFA, foi empregado VANT para coletar imagens aéreas que foram processadas com a técnica de fotogrametria digital (Structure from Motion - SfM) para criar a nuvem de pontos de complementação para os dados da cobertura não coletados pelo TLS.

Durante a coleta de dados na ISFA, foram realizados 5 escaneamentos internos e 9 escaneamentos externos, enquanto no CB, foram feitos 11 escaneamentos externos, 3 internos e 2 na cobertura. Na etapa de aquisição, esses dados foram processados, alinhados e passaram por limpeza de ruídos. Em seguida, os dados foram exportados para a modelagem no ambiente Revit,

Na ISFA, foi utilizado o software Pix4DMapper para realizar o processamento das imagens no método SfM. Foi optado pelo processamento padrão, o qual levou 13 horas para processar 300 imagens obtidas durante voos em duplo grid com a câmera posicionada a 90°. Como resultado, o software gerou uma nuvem com 7.063,90 pontos no total, apresentando uma densidade de 3006 pontos por m³. Posteriormente, esses dados foram exportados em formato LAS.

Os dados do TLS referentes ao CB e ISFA foram processados e limpos de ruídos utilizando o software RecapPRO da Autodesk. A nuvem de pontos da ISFA, gerada pelo TLS, foi importada em FLS (formato proprietário FARO) para o RecapPRO e alinhada à nuvem de pontos resultante da técnica de fotogrametria, também importada no formato LAS.

Em seguida, foram exportados os dados de nuvem de pontos em formato RCS (nativo do RecapPRO) para o Revit. A modelagem utilizou os padrões do Revit e foram criados modelos inteligentes com famílias e parametrização para a estrutura geral do projeto. Foram empregadas famílias padrão para inserir paredes, colunas, pisos, tetos e paredes de vedação. Além disso, foi modelado o forro in loco e hospedadas paredes e janelas em elementos específicos. A Fig. 20 mostra os modelos HBIM do conjunto da Pampulha em diferentes níveis de detalhe (LODs).

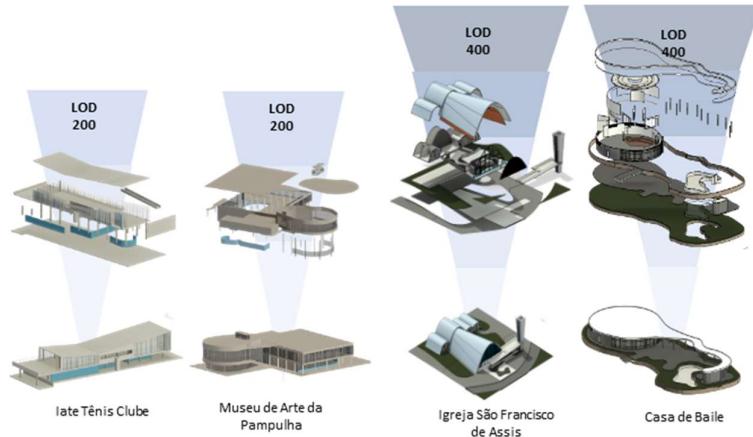


Figura 2. Modelos HBIM em diferentes LODS. Fonte: Autores, 2023.

2.4 Aplicação integrada HBIM-SIG

Utilizando a ferramenta "BIM para geodatabase" do ArcGIS Pro, incorporou-se diretamente o modelo Revit ao ArcGIS Pro, seguindo os passos de georreferenciamento do modelo RVT utilizando a função "Localização" na aba "Gerenciar". Foram configurados pontos de georreferenciamento usando as funções "Pontos de base topográficas" e "Pontos de pesquisa".

Em seguida, na aba "Geoprocessamento" do ArcGIS Pro selecionou-se o modelo RVT, indicando a geodatabase onde o arquivo RVT foi armazenado após a conversão. É importante notar que o ArcGIS Pro requer que o arquivo RVT esteja associado a uma pasta dentro de uma geodatabase criada previamente no ArcGIS. Além disso, selecionou-se o sistema de coordenadas inserido no Revit para garantir a integração correta.

Após a conclusão do processo de conversão, que teve duração de 1 minuto e 23 segundos, o modelo Revit foi visualizado no mapa no ArcGIS Pro. No entanto, verificou-se que o modelo não continha as informações modeladas no BIM e foi reconhecido pelo ArcGIS como um único bloco, sem dados semânticos associados.

É relevante enfatizar que a primeira tentativa não alcançou a incorporação das informações BIM desejadas. Portanto, foi necessário considerar outras estratégias para obter uma integração mais abrangente e eficiente entre os modelos HBIM e SIG.

Frente ao desafio da perda de dados, adotou-se abordagens embasadas nas metodologias de Vacca *et al.* (2018) e Trisyanti *et al.* (2019). Optou-se pelo software FME para a segunda abordagem. Com o FME, foi

possível visualizar, editar e validar os dados e metadados do modelo HBIM, convertendo-o para o formato GDB compatível com o ArcGIS.

No ambiente do FME, foram utilizadas duas extensões essenciais: Data Inspector FME e Workbench FME. O Data Inspector permitiu analisar informações faltantes, intervindo e modificando os padrões dos arquivos de entrada por meio do Workbench FME. Garantiu-se, assim, a qualidade e integridade dos dados antes de convertê-los para o formato GDB.

No software Revit, exportou-se o modelo HBIM como IFC. No Data Inspector, usando a ferramenta Display Control, filtros específicos foram aplicados para cada tipo de dado IFC no modelo, verificando a tabela de materiais gerada pelo Revit. Essa etapa é crucial para assegurar a qualidade e identificar possíveis discrepâncias. A Fig. 3 ilustra a tabela "paredes" do modelo Revit e a tabela no Data Inspector FME referente ao HBIM em IFC, mostrando que todas as informações do modelo RVT estão no arquivo IFC, exceto as informações do IFC Building e IFC Project, que estão ausentes.

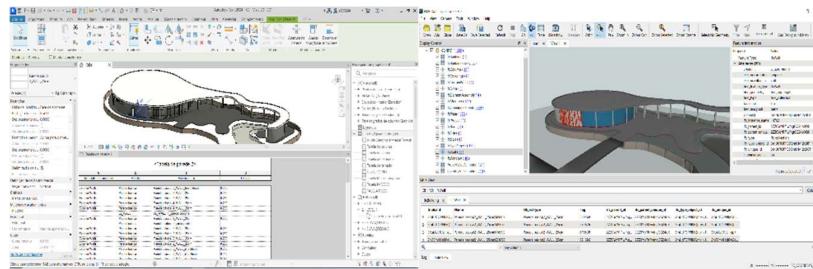


Figura 3. Comparação de tabelas entre o modelo HBIM e o modelo em IFC, visualizado no FME. Data inspector. Fonte: Autores, 2023.

Após importar o modelo IFC no software Workbench, as informações faltantes foram excluídas usando filtros. Em seguida, a saída foi configurada para o formato GDB. Foram obtidos 16 padrões de informações no FME, cada um relacionado a um Padrão IFC específico.

O FME divide os dados e metadados para garantir a conversão completa. No caso do dado IfcWall, seus metadados incluem *points*, *text*, *line*, *surface*, *solid* e *area*. Esses metadados são combinados para formar um único dado chamado *IfcWall_Geometry* e *IfcWall_Surface*. Todos esses dados são inseridos separadamente no ArcGIS para garantir uma exportação bem-sucedida.

A Fig. 4 ilustra o padrão de informação adotado e suas conexões com os dados e metadados. Além disso, mostra os 16 padrões de exportações correspondentes a cada componente do modelo HBIM exportado no padrão

IFC. Após conferir todos os dados no Workbench FME, o modelo IFC foi convertido em GDB.

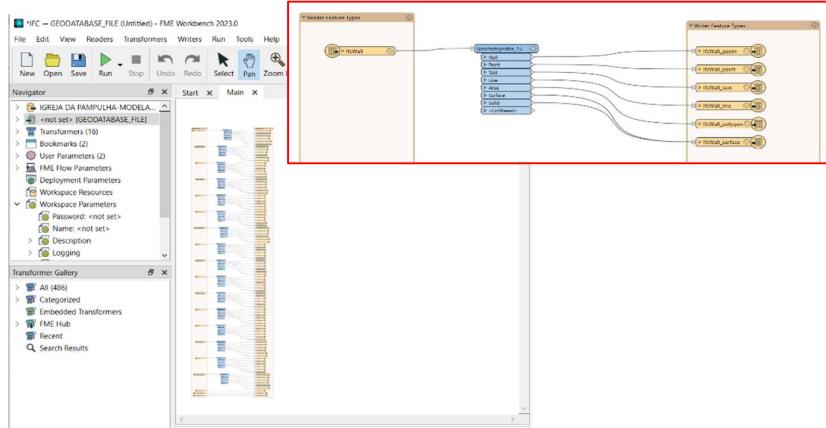


Figura 4. Padrão de informações adotado . Fonte: Autores, 2023.

3 Resultados

No software ArcGIS Pro foi aberta uma cena local e uma nova camada foi criada usando a função "camada 3D". Em seguida, repetiu-se o processo de inserção do arquivo GDB contendo o modelo HBIM para cada edificação, abrangendo todas as construções. A Fig. 5 ilustra todos os edifícios ao redor da Pampulha.

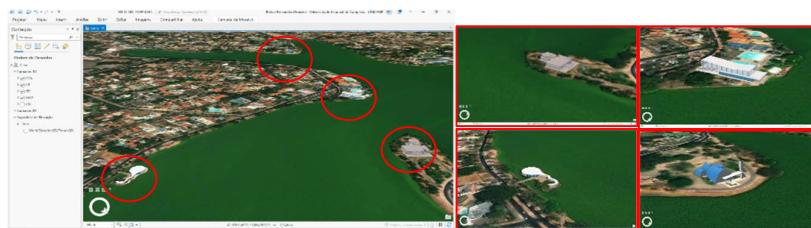


Figura 4. Modelos HBIM integrado em camadas 3D no ArcGis. Fonte: Autores, 2023.

Tanto o ArcGIS quanto o Revit fazem uso do sistema global de posicionamento GPS, com uma precisão de 20 metros. No entanto, ao inserir o modelo HBIM no ArcGIS percebeu-se um deslocamento de alguns metros.

Para solucionar esse problema, a função "mover camadas" de forma precisa foi utilizada, ajustando as coordenadas para garantir que os modelos estejam alinhados corretamente aos limites de cada terreno.

Inserir as coordenadas no Revit proporciona uma melhor confiabilidade dos dados georreferenciados em comparação com o uso das coordenadas no software FME. Uma das vantagens da aplicação com o uso do software FME foi a capacidade de realizar análises 3D e criar atributos com informações diversas relacionadas ao patrimônio, incluindo informações quantitativas e qualitativas. Além disso, foi possível visualizar as edificações georreferenciadas, inserir níveis da construção, linhas e polilinhas referentes aos desenhos originais.

Na primeira abordagem, o modelo RVT foi inserido no ArcGIS sem nenhum dado relacionado aos seus componentes, estruturas, identificações ou outros dados de informações modelados em BIM. Como resultado, não houve separação dos dados BIM no ArcGIS, tornando impossível a aplicação de filtros e a visualização do modelo com todos os seus componentes separadamente.

Por outro lado, na segunda abordagem, utilizando o Workbench do FME, foi possível visualizar todos os dados e editá-los, permitindo uma conversão completa. Isso possibilitou a visualização de linhas, polilinhas, superfícies, áreas e volumes de cada componente das edificações. Na Fig. 6, para exemplificar, ilustramos a edificação ITC com a utilização do filtro, no caso colunas, que permite a separação de todos os componentes "coluna" da edificação. Esse tipo de recurso pode proporcionar uma melhor compreensão do patrimônio arquitetônico.

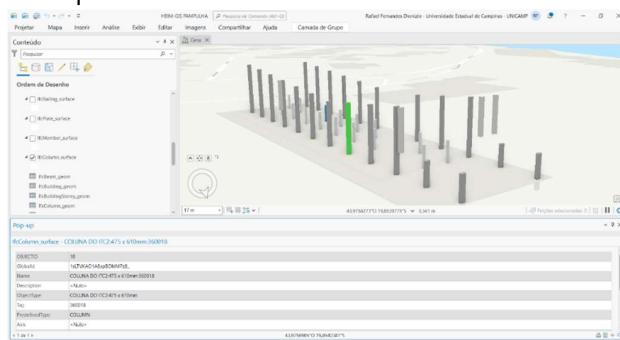


Figura 6. Filtro de *Columns* e tabelas de informações BIM no Arcgis. Fonte: Autores, 2023.

Foram criadas camadas 3D individuais para cada edificação, embora os dados de textura não pudessem ser visualizados. A visualização dos dados foi possível no ArcGIS e comparada com o Revit. Os dados de cada elemento

são acessíveis por meio de um PopUP ao selecioná-lo, incluindo os metadados do modelo IFC através de tabelas correspondentes.

É importante notar que as alterações nos modelos HBIM não se refletem automaticamente no ArcGIS, e a visualização é restrita a especialistas em BIM e SIG. Soluções de interoperabilidade mais eficientes podem ser exploradas, como aquelas apresentadas por Barazzetti e Roncoroni (2021), com aplicativos BIM e SIG baseados na nuvem.

4 Conclusão

A integração do modelo HBIM-SIG é uma promissora abordagem para a gestão de paisagens culturais, como o Conjunto Moderno da Pampulha, permitindo análises detalhadas e espaciais que vão além do BIM. Desafios, como a perda de dados ao tentar inserir diretamente o modelo RVT no ArcGIS, foram identificados, e soluções alternativas, como o software FME (Vacca et al., 2018; Colucci et al., 2020), foram adotadas.

Uma estratégia eficaz para o gerenciamento da Área de Proteção Cultural da Pampulha envolve modelar todas as edificações com LOD400, proporcionando uma representação completa para suportar fabricação, montagem e manutenção.

Para o futuro, é crucial melhorar a interoperabilidade entre BIM e SIG, bem como explorar tecnologias emergentes, como o armazenamento em nuvem, para aprimorar a visualização e análise do modelo HBIM-SIG na gestão do patrimônio cultural.

Em resumo, o modelo HBIM-SIG oferece um grande potencial para a gestão de paisagens culturais, embora exija pesquisas contínuas para superar desafios e maximizar seu benefício (Vacca et al., 2018; Colucci et al., 2020).

Agradecimentos. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Referências

- Barazzetti, L., & Roncoroni, F. (2021). Generation of a multi-scale historic BIM-GIS with digital recording tools and geospatial information. *Heritage*, 4(4), 3331-3348.
- Bruand, Y. (1999). *Arquitetura contemporânea no Brasil*. Editora Perspectiva.
- Castellano-Román, M., & Pinto-Puerto, F. (2019). Dimensions and levels of knowledge in heritage building information modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage*, 14, e00110.

Cogima, C. K., de Carvalho Nascimento, R. V., de Paiva, P. V. V., de Carvalho, M. A. G., & Dezen-Kempter, E. (2020). Scan-to-HBIM aplicado à igreja da Pampulha de Oscar Niemeyer. *Gestão & Tecnologia de Projetos*, 15(1), 117-134.

Dezen-Kempter, E., Molina, V. E., Silva, L. H., Mendes, L. P., Campos, M. F., Custodio, I. A., ... & Alves, T. M. (2021). Challenges of District Information Modeling (DIM) Applied for Heritage Preservation. In *Proceedings of the 18th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering: ICCCBE 2020* (pp. 483-495). Springer International Publishing.

Dangermond, J., & Goodchild, M. F. (2020). Building geospatial infrastructure. *Geo-Spatial Information Science*, 23(1), 1-9.

Nascimento, F. B. do, & Scifoni, S. (2010). A paisagem cultural como novo paradigma para a proteção: a experiência do Vale do Ribeira- SP . *Revista CPC*, (10), 29-48.

Sacks, R., Eastman, C., Lee, G., & Teicholz, P. (2018). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, designers, engineers, contractors, and facility managers*. John Wiley & Sons.

Goodchild, M.F., Steyaert, L.T., Parks, B.O., Johnston, C., Maidment, D., Crane, M., & Glendinning, S. (Eds.). (1996). GIS and environmental modeling: progress and research issues.

Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional (IPHAN). *Dossiê de candidatura do Conjunto Moderno da Pampulha para inclusão na lista do patrimônio mundial da UNESCO*. Brasília, 2017.

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2007, November). Parametric vector modelling of laser and image surveys of 17th century classical architecture in Dublin. In *VAST* (pp. 27-29).

Trisyanti, S.W., Suwardhi, D., Murtiyoso, A., & Grussenmeyer, P. (2019). Low cost web-application for management of 3d digital building and complex based on BIM and GIS. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 371-375.

Tomlinson, R. (1998). The Canada geographic information system. *The history of geographic information systems: Perspectives from the pioneers*, 21-32.