ENTAC 2024
XX ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO
Maceió, Brasil, 9 a 11 de outubro de 2024

Uso de plataformas BIM para análise do desempenho acústico: uma revisão da literatura

Usage of BIM platforms for acoustic performance analysis: a literature review

Edna Sofia de Oliveira Santos
Universidade de São Paulo| São Paulo | Brasil | sofiaoliveira@usp.br
Ranny Loureiro Xavier Nascimento Michalski
Universidade de São Paulo | São Paulo | Brasil | rannym@usp.br
Roberto Aizik Tenenbaum
Universidade Federal de Santa Maria| Santa Maria | Brasil | ratenenbaum@gmail.com

Resumo

O uso de programas computacionais baseados em Building Information Modeling tornou-se uma prática crescente entre os escritórios prestadores de serviços para o setor da construção civil. Essa prática oferece inúmeras vantagens, como interoperabilidade e compatibilização entre as diferentes disciplinas ao longo das várias fases de um projeto arquitetônico. Este artigo apresenta uma breve visão da tecnologia BIM, do Building Performance Simulation, e o estado da arte, tanto da aplicação da tecnologia voltada para análise e predição acústicas, como da incorporação ao projeto de informações sob esta perspectiva. Foram determinados os buscadores e as palavras-chave a serem utilizados, com 253 artigos encontrados inicialmente. Após atender os critérios de seleção, 58 artigos foram analisados por meio do método de revisão sistemática da literatura e meta-análise. O "The Jornal of the Acoustical Society of America" foi o periódico com o maior número de publicações na temática e a área mais explorada dentre os trabalhos é a pesquisa por soluções em acústica de salas. As novas tecnologias, a exemplo da internet das coisas, gêmeos digitais e inteligência artificial, passaram a ser integradas nas últimas pesquisas e prometem oferecer inúmeros avanços à área. Conclui-se que os estudos nesse sentido são promissores, havendo um vasto campo a ser explorado, sobretudo de forma a possibilitar a operação dessa tecnologia facilitada na área de acústica para o usuário comum.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Construção. Análise acústica. Interoperabilidade. Estado da arte. RSL.

Abstract

The use of Building Information Modeling based software has become an increasingly common practice among service providers in the construction sector. This practice offers numerous advantages, such as interoperability and compatibility among different disciplines throughout various phases of an architectural project. This article presents a brief overview of BIM technology, Building Performance Simulation, and the state of the art, both in the application of technology focused on acoustic analysis and prediction, as well as the incorporation of

Como citar:
SANTOS, E. S. O.; MICHALSKI, R. L. X. N.; TENENBAUM, R. A. Uso de plataformas BIM para análise do desempenho acústico: uma revisão da literatura. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais**... Maceió: ANTAC, 2024.

information from this perspective into the project. The keywords and search engines to be used were established, with 253 initial articles found. After meeting the selection criteria, 58 articles were analyzed using the systematic literature review and the meta-analysis method. "The Journal of the Acoustical Society of America" was the journal with the largest number of publications on the subject and the most explored area among the works is the search for solutions in room acoustics. New technologies, such as the internet of things, digital twins, and artificial intelligence, have started to be integrated into the latest researches and promise to offer several advances to the area. It is concluded that studies in this regard are promising, with a vast field to be explored, especially in order to enable the operation of this technology in the area of acoustics for the common user.

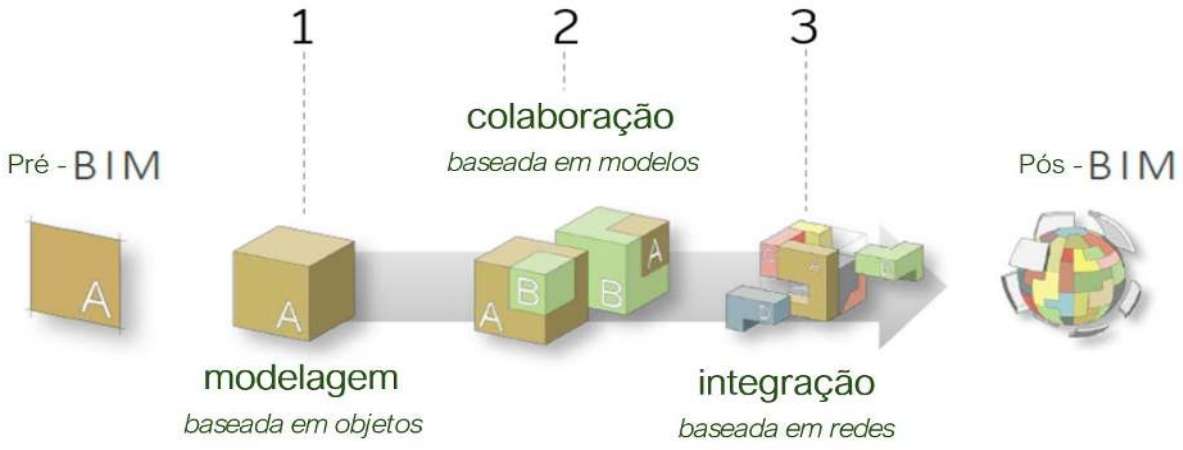
Keywords: Building Information Modeling. Acoustic analysis. Interoperability. State of art. SLR.

INTRODUÇÃO

A evolução computacional trouxe consigo o avanço dos meios de produção em diferentes setores. Na indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação das Instalações), a criação e documentação de projetos, que por muito tempo aconteceu de forma manual, passou a utilizar processos digitais a partir do CAD (*Computer Aided Design*) [1]. Com o desenvolvimento da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) ou Modelagem da Informação da Construção [2][3], e o seu conceito, muitas vezes tido como utópico [4], uma nova revolução é prometida no processo de produção, comunicação e análise da construção, sendo considerada uma das principais tendências tecnológicas da área [5][6].

A adoção do BIM não acontece de forma imediata. Em seu trabalho, Succar [7] apontou os "estágios de maturidade" da implantação do BIM, ilustrado pela Figura 1. A princípio, na fase "pré-BIM", o autor ressalta um fluxo de trabalho linear e assíncrono, com baixo investimento em tecnologia e falta de interoperabilidade. Em seguida, são citados três estágios de maturidade: "modelagem baseada em objetos", "colaboração baseada em modelos" e "integração baseada em redes". Em cada estágio, os processos e funcionalidades do BIM são gradativamente incorporados, modificando o modelo de trabalho e a forma como os contratos são estabelecidos. Na fase "pós-BIM" o termo "*Integrated Project Delivery*" (IPD) é apresentado como uma visão a longo prazo, explorando avanços tecnológicos possíveis e ainda inexistentes.

Figura 1: Estágios de maturidade da implantação do BIM.



Fonte: Adaptado de SUCCAR, 2009 [7].

Para que a interoperabilidade se tornasse possível, um modelo de dados não-proprietário se fez necessário para garantir a comunicação entre diferentes programas computacionais, visto que cada um dos responsáveis pelas inúmeras disciplinas não necessariamente utiliza a mesma plataforma de desenvolvimento de projetos. Sob essa perspectiva, liderados pela Autodesk, iniciou-se em 1994 um consórcio entre empresas comerciais e instituições de pesquisa interessadas no desenvolvimento de um código neutro para a integração entre aplicativos, chamado inicialmente "*Industry Alliance for Interoperability*" e renomeado em 1997 como "*Internacional for Interoperability*". Em 2007, foi restabelecido como uma organização sem fins lucrativos, tendo seu nome alterado para "*buildingSMART*", responsável atual pela manutenção e desenvolvimento do formato "*Industry Foundation Classes"* (IFC) [8].

Mesmo sendo o modelo de dados mais consistente, algumas questões do IFC são criticadas quanto ao não atendimento em diversos setores, inclusive em relação à falta de suporte adequado para análise de desempenho energético. Contudo, dado o volume de operações da indústria AECO, é compreensível que lacunas de operação aconteçam.

Outro formato não-proprietário que está em ascensão é o gbXML ou *Green Building* XML, criado para a transferência de informações entre ferramentas CAD/BIM e BPS, desenvolvido a partir de 2000 pela *Green Building Studio*, uma organização sem fins lucrativos dos Estados Unidos [9]. O trabalho publicado por Dong et al. [10] analisa comparativamente as diferenças entre o IFC e o gbXML quanto à representação, estrutura de dados e aplicação.

Relacionada à simulação do desempenho das edificações e com o propósito de avaliar o comportamento físico dos modelos de acordo com o projetado [11][12], uma nova possibilidade de melhoria no processo a partir da integração desses simuladores com programas com tecnologia BIM em desenvolvimento surge. Essa tecnologia é conhecida como BPS (*Building Performance Simulation*). Por ser um modelo integrado, há uma redução substancial de perda de informação e retrabalho, possibilitando trabalho colaborativo e aumento na confiabilidade das informações.

Em seu trabalho, Pinha [12] analisou 250 pesquisas publicadas mundialmente no período de 1991 a 2015 sobre a integração entre ferramentas BIM e BPS. De tal forma, com base na distribuição das quantidades de artigos por ano e na evolução na porcentagem de menções referentes à nomenclatura BIM, é sugerida uma divisão em intervalos de quatro anos para o estabelecimento dos períodos "Pré-BIM" (1991-2003), "Disseminação BIM" (2004-2007), "Estabelecimento BIM" (2008-2011) e "BIM recente" (2012-2015).

A simulação acústica no espaço construído, quanto à observância do desempenho das edificações, costuma ser uma temática tratada à parte dentre os pilares do conforto ambiental, com simuladores próprios e especializados. Contudo, iniciativas de integração às novas tecnologias de modelagem BIM passaram a ganhar força em pesquisas na área.

Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura quanto à aplicação de tecnologias BIM para análises e predições em acústica, objetivando entender o estado da arte nesta temática.

BPS E A SIMULAÇÃO EM ACÚSTICA

Anteriormente à ascensão do BIM, modelos 3D ou maquetes digitais já eram utilizados para a verificação de aspectos relacionados ao desempenho de edificações. Até então, o trabalho incluía a modelagem computacional em cada um dos programas especializados e a modelagem precisava ser atualizada para cada nova modificação. No entanto, é crucial priorizar o projeto e a execução de construções eficientes, que utilizem os recursos de forma responsável, e onde os processos de simulação sejam facilitados e aplicados [13]. Dado o número de disciplinas que envolvem a consolidação de uma construção, grandes volumes de informação são criados em plataformas diversas, tornando o gerenciamento em AECO um desafio. Sendo assim, novas tecnologias são importantes para melhorar a colaboração entre os diferentes projetistas de forma eficiente, mesmo que tragam consigo desafios particulares.

A possibilidade de integração entre o BIM e o BPS chamou a atenção desde a consolidação do BIM, com muitas publicações nessa temática [12]. Entretanto, apenas uma pequena parcela das pesquisas encontradas envolve aplicações voltadas para a análise acústica.

Os primeiros trabalhos publicados em simulação acústica envolviam acústica de salas, como os de Allred [14] em 1958 e de Schroeder [15][16] em 1962 e 1973. Para a época, eram soluções mais baratas do que modelos físicos reais, ainda que com limitações. Desde então, houve avanços significativos, tornando os programas mais intuitivos e confiáveis [17-19]. Além disso, aplicações em outras áreas da acústica, como acústica ambiental e acústica de edificações, passaram a ser estudadas em *software* de simulação, com programas específicos para cada uma [20].

O BIM com o BPS tem revelado novas possibilidades de implementação para a inclusão da análise acústica em projeto, e as pesquisas incluídas neste trabalho demonstram um cenário de evolução constante.

MÉTODO

Nesta seção, são descritos os procedimentos realizados para a pesquisa e os materiais base utilizados. Também são apresentados os programas e plataformas em uso para acesso aos artigos, organização e tratamento de dados.

REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

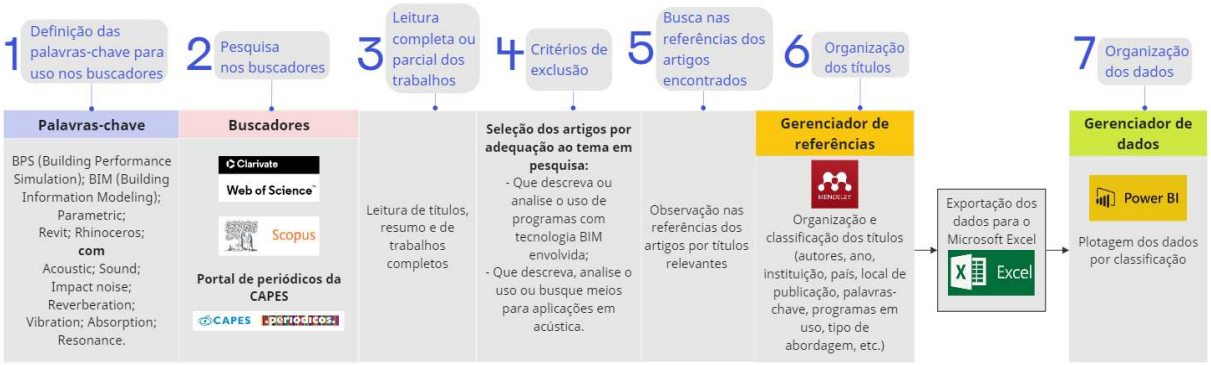
Para esta pesquisa, foram utilizados os métodos de revisão sistemática de literatura e meta-análise, onde os dados foram analisados de forma quantitativa e qualitativa. O método utilizado foi esquematizado na Figura 2. Inicialmente, foram definidas as palavras-chave a serem utilizadas nos buscadores, de forma a maximizar os resultados referentes à temática em abordagem. As palavras definidas referem-se ao contexto do BIM e aos principais programas utilizados no mercado: BPS (Building Performance Simulation); BIM (Building Performance Simulation); Parametric; Revit; e Rhinoceros, em associação com termos comumente empregados em acústica, como, Acoustic; Sound; Impact noise; Reverberation; Vibration; Absorption e Resonance.

Posteriormente, foram selecionados três buscadores de referências, bases de dados, onde as palavras-chave definidas foram aplicadas: Portal de periódicos da Capes; *Scopus*; e *Web of Science*.

A etapa seguinte foi a de escolha dos critérios de inclusão e exclusão. Além das palavras-chave, foram considerados trabalhos publicados a partir do ano 2010, nos idiomas português e inglês. Como critérios de exclusão foram extraídas publicações repetidas e cujo assunto fugia do proposto para esta pesquisa.

Os trabalhos encontrados foram organizados no gerenciador de referências Mendeley® [21], onde foram catalogados por título, ano e local de publicação, autores, dentre outras informações quanto ao conteúdo abordado. Durante a leitura, em observância às referências, novas publicações também foram encontradas e anexadas ao banco de dados.

Figura 2: Método adotado para a busca dos artigos e tratamento dos dados



Fonte: os autores.

Por fim, as informações foram exportadas e organizadas no Microsoft Excel, e para a geração de gráficos e painéis de observação, compartilhadas com o Microsoft Power BI®. Na próxima seção são apontados os resultados observados.

Os resultados foram organizados em análise bibliométrica, onde os dados foram analisados quantitativamente, e análise de conteúdo, para as considerações a respeito das informações contidas nos trabalhos.

RESULTADOS

Com as buscas realizadas, foram encontrados inicialmente 253 publicações. Após a aplicação dos critérios de exclusão, restaram 45 para leitura completa. Após leitura completa, somaram-se mais 13 publicações obtidas a partir das referências. Por fim, restaram 58 trabalhos que envolvem claramente o uso do BIM voltado para aplicações em acústica.

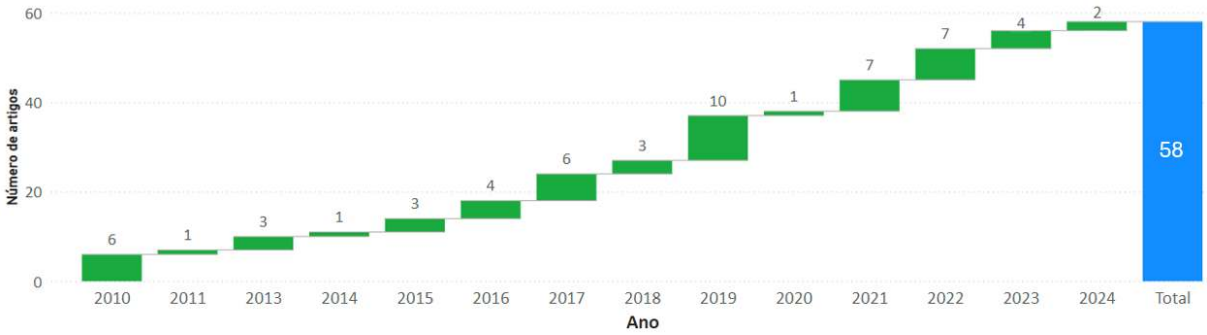
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

A Figura 3 apresenta a distribuição da quantidade de artigos por ano de publicação, assim como a Figura 4, com os meses de publicação incluídos. Em artigos de periódicos, o mês e ano registrados foram os de publicação nos periódicos, quando o trabalho

passou a ter disponibilidade de acesso. Em artigos de conferência, as datas dos eventos foram consideradas.

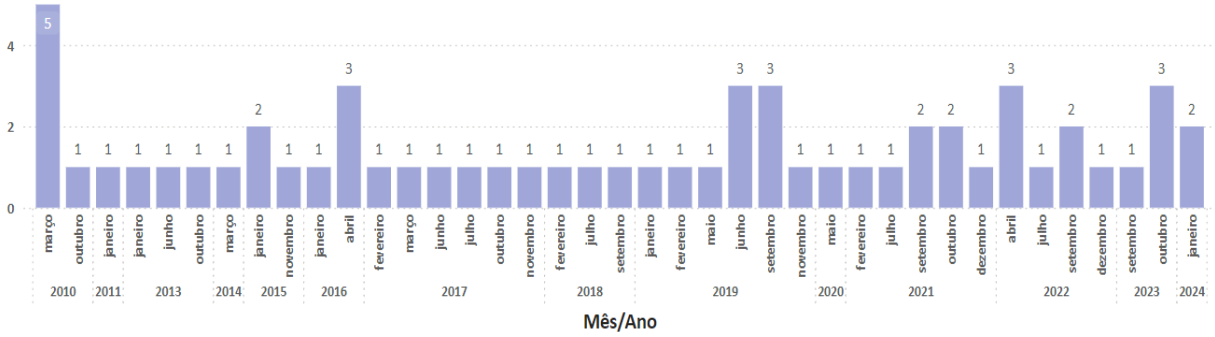
Dentre os trabalhos selecionados, não foi possível o acesso completo a 16 deles [22-37], somente ao resumo. O contato com os autores foi realizado, e até a presente data houve três retornos com trabalhos semelhantes disponibilizados. Muitos dos artigos não acessados pertencem ao periódico "The Journal of the Acoustical Society of America" (JASA), em que, para alguns casos, apenas resumos oriundos de congressos são indexados à revista.

Figura 3: Linha do tempo com a quantidade de artigos por ano de publicação e total



Fonte: os autores.

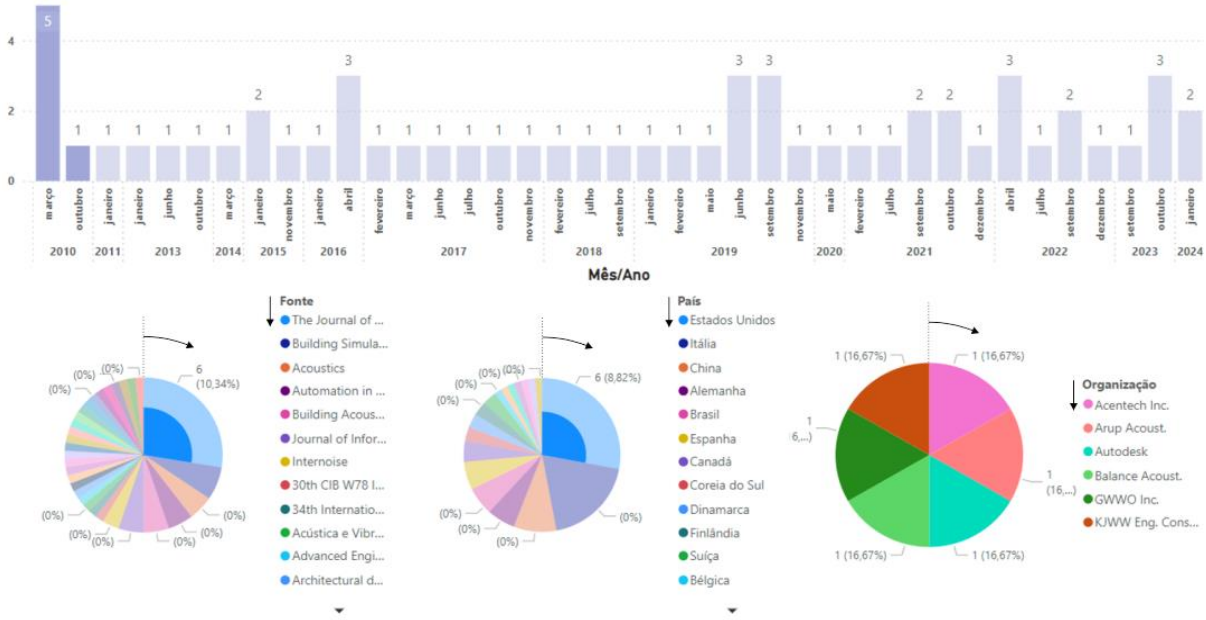
Figura 4: Linha do tempo com a quantidade de artigos por mês e ano de publicação



Fonte: os autores.

Nas Figuras 3 e 4, observa-se que os primeiros artigos encontrados que abordam a acústica em referência ao BIM datam de 2010, com seis publicações. Em relação aos intervalos apontados por Pinha [9], as análises em acústica aparecem como uma subárea dos trabalhos sobre BPS, enquadrando-se esse início entre as fases de "Estabelecimento BIM" e "BIM recente". Os seis artigos iniciais foram publicados no mesmo periódico, JASA [22-27], com local de origem nos Estados Unidos, e produzidos por empresas de arquitetura ou consultoria acústica (Figura 5). Isso aponta que as primeiras pesquisas para aplicação na área foram realizadas por empresas privadas, sendo a temática posteriormente incorporada pela academia.

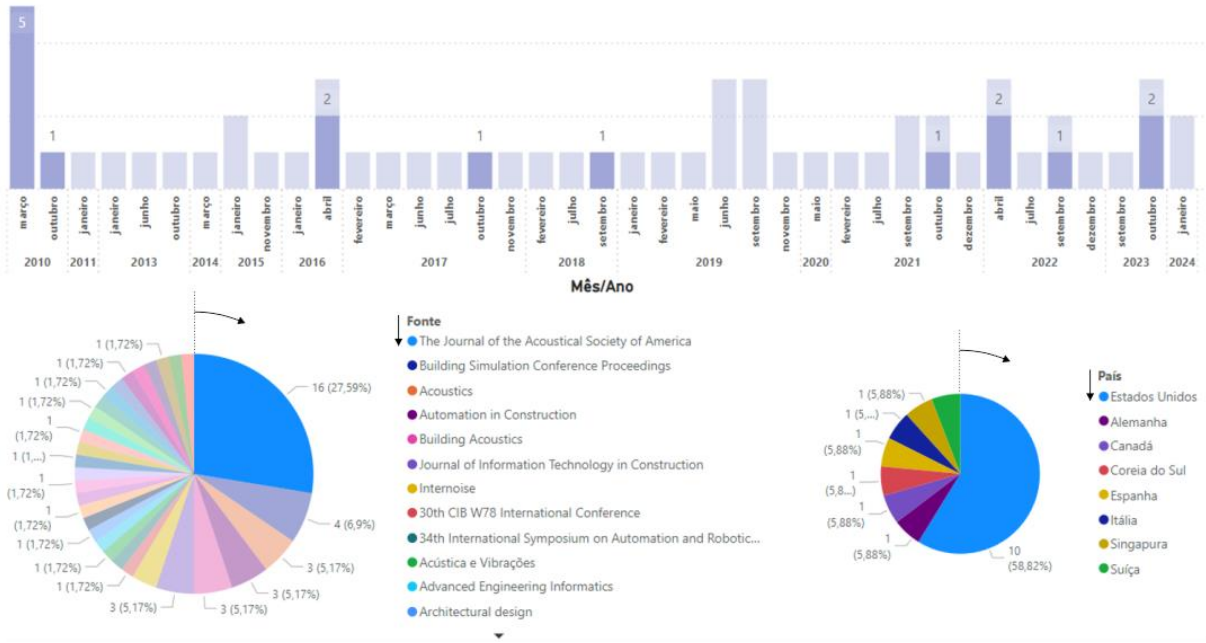
Figura 5: Informações sobre as filiações relativas aos primeiros artigos publicados em 2010



Fonte: os autores.

A Figura 6 apresenta o “The Journal of the Acoustical Society of America” (JASA) como o periódico com mais publicações registradas, somando um total de 16 trabalhos.

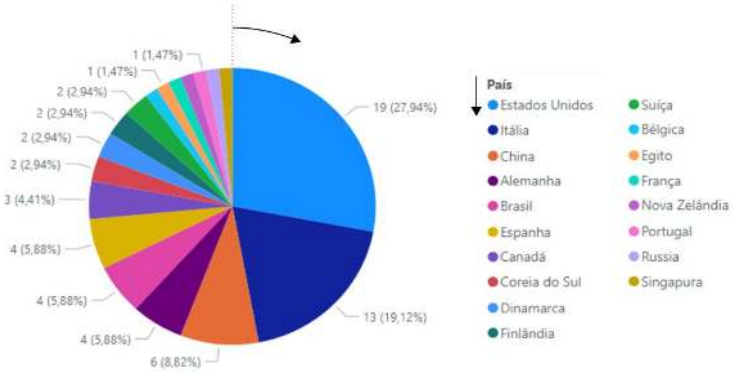
Figura 6: Publicações no JASA, periódico com maior número de publicações na área.



Fonte: os autores.

Os países com publicações na área podem ser observados na Figura 7, com o Estados Unidos com o maior número (19 trabalhos), seguido pela Itália (13 trabalhos) e pela China (6 trabalhos).

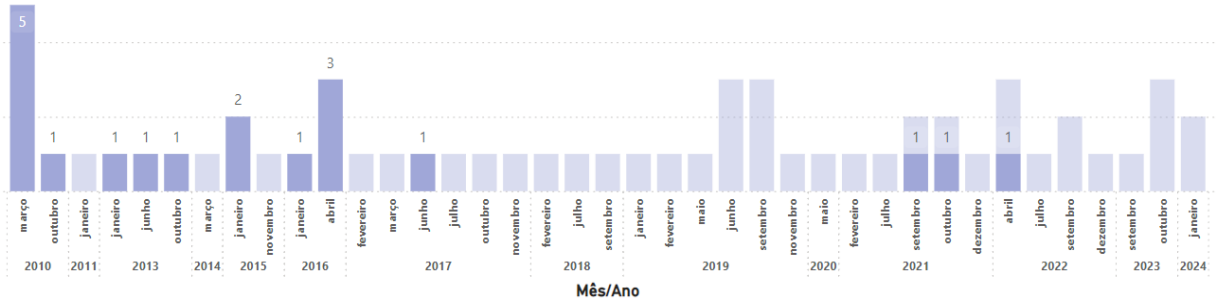
Figura 7: Países com publicações na área.



Fonte: os autores.

O período das publicações produzidas nos Estados Unidos pode ser observado na Figura 8, onde a maior quantidade aconteceu em 2010, com os seis primeiros trabalhos publicados, como anteriormente mencionado.

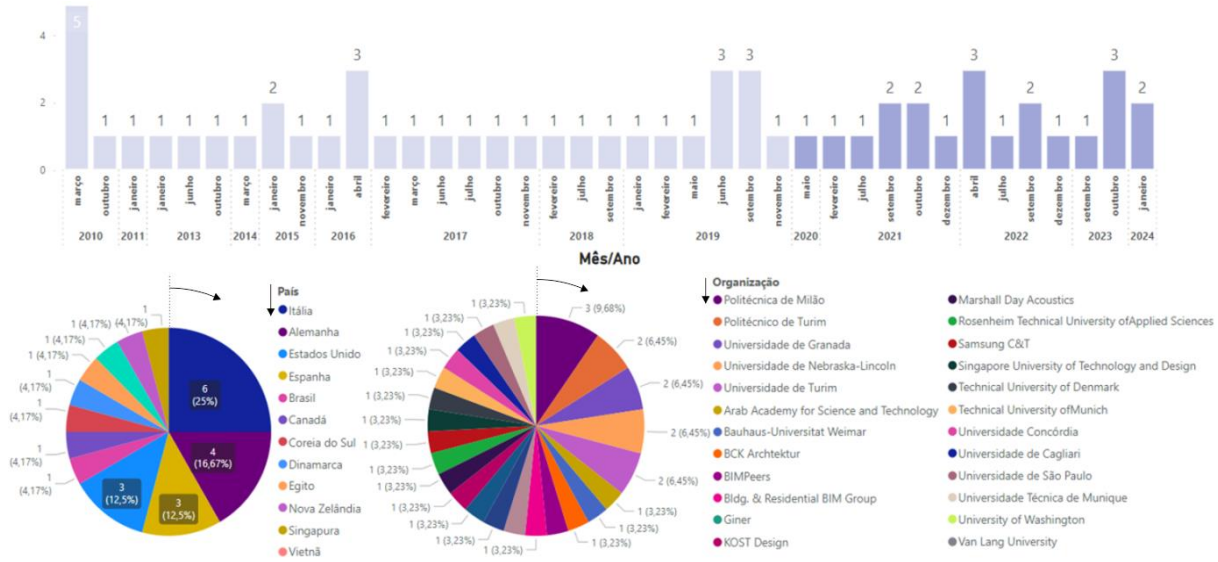
Figura 8: Períodos de publicação dos Estados Unidos (país com mais publicações na área).



Fonte: os autores.

Analisando as publicações ocorridas nos últimos 5 anos, como apresentado na Figura 9, o país com maior número de trabalhos é a Itália (6 trabalhos), seguido pela Alemanha (4 trabalhos) e os Estados Unidos e a Espanha empatados (3 trabalhos). Dos 6 trabalhos publicados pela Itália nos últimos 5 anos, 3 são da Politécnica de Milão.

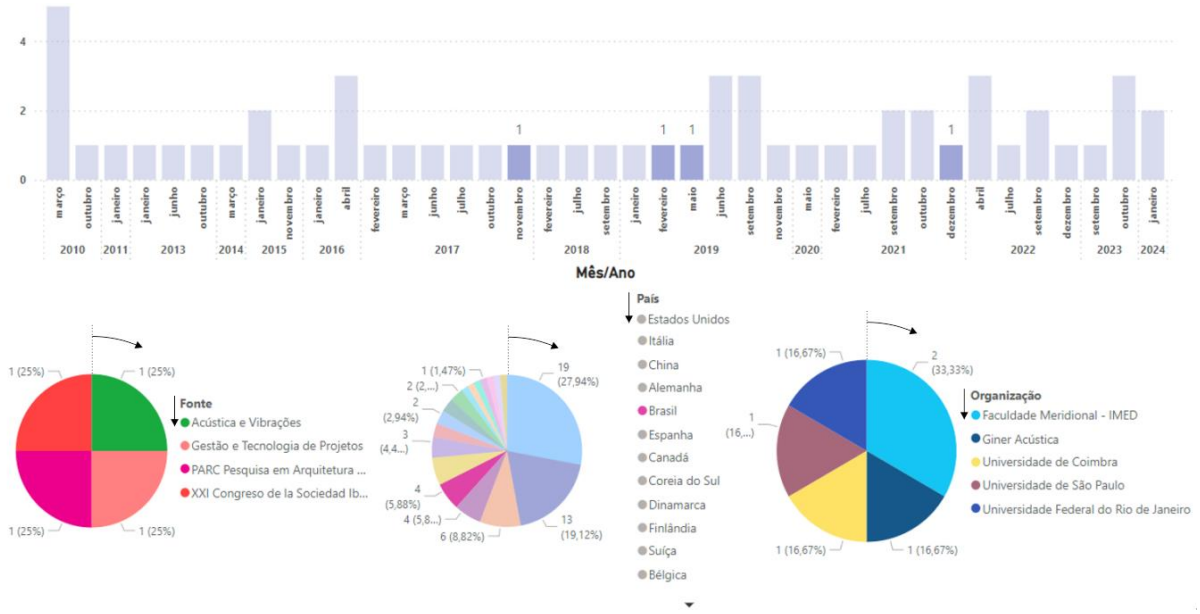
Figura 9: Dados relacionados às publicações dos últimos cinco anos.



Fonte: os autores.

Foram encontrados quatro trabalhos brasileiros [38-41], apresentados na Figura 10. O primeiro deles foi publicado em 2017, no “XXI Congreso de la Sociedad Ibero-americana de Gráfica Digital”, com título “Programação em plataforma BIM e a Norma de Desempenho Brasileira: Desenvolvimento de uma aplicação para estimativa de performance acústica em projetos arquitetônicos” [38] e produzido pela Faculdade Meridional - IMED. O trabalho mais recente encontrado, de 2021, foi publicado na revista Acústica e Vibrações, com título “Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC”, num trabalho conjunto entre a Universidade de São Paulo e a empresa Giner Acústica [41].

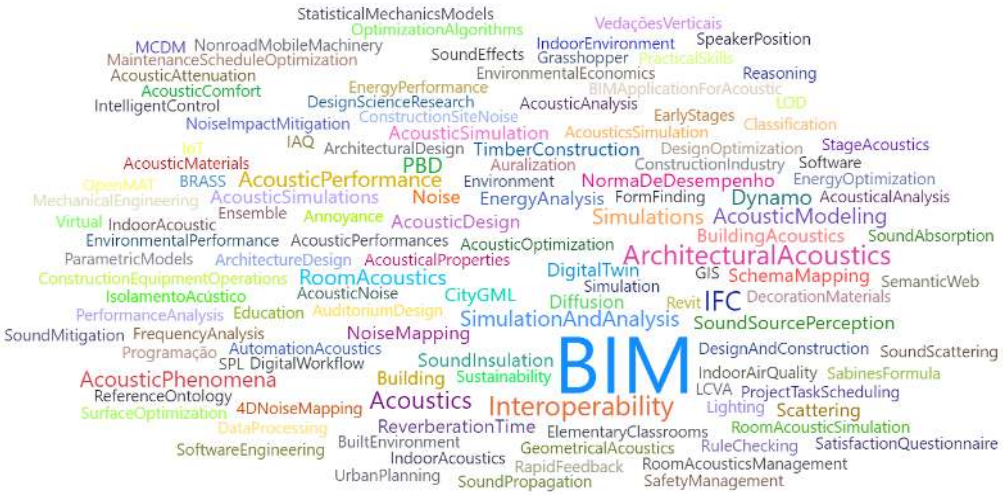
Figura 10: Publicações brasileiras.



Fonte: os autores.

As palavras-chave apontadas nos trabalhos foram catalogadas e apresentadas na Figura 11, onde o tamanho em que se apresentam está relacionado com o número de repetições do termo utilizado.

Figura 11: Nuvem de palavras com palavras-chave.



Fonte: os autores.

As palavras mais utilizadas foram “BIM”, com 24 menções, “IFC” e “Interoperability”, cada uma com 5 menções, seguidas por “Acoustics” e “Architectural Acoustics”, com 4 menções cada.

ANÁLISE DE CONTEÚDO

Com relação ao conteúdo abordado, inicialmente foram identificados os programas utilizados nos trabalhos. A identificação foi realizada por meio da leitura dos resumos ou dos artigos. Todos os programas em uso, sendo eles relacionados à tecnologia BIM ou não, foram registrados. O programa mais mencionado foi o Revit [42], usado em 17 trabalhos [38-41][43-55] seguido pelo Rhinoceros [56], identificado em 12 trabalhos [27-29][31][35][57-63]. Em seguida, o Grasshopper foi mencionado em 8 trabalhos, sendo ele um algoritmo de modelagem para o Rhinoceros [64]. O Dynamo foi mencionado em 5 trabalhos, e é um aplicativo de programação visual muito utilizado no Revit [65].

Figura 12: Nuvem de palavras com programas citados.

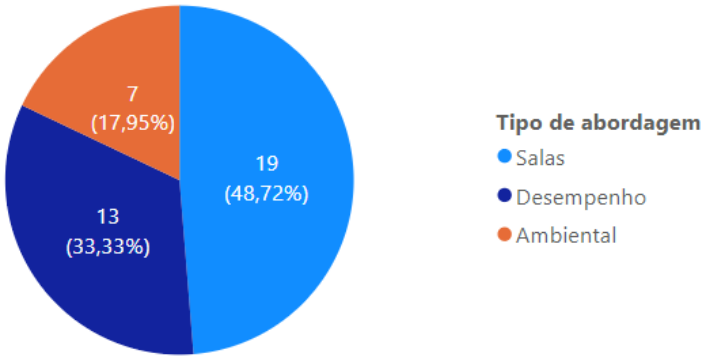


Fonte: os autores.

Uma outra análise realizada foi a classificação do tipo de abordagem utilizada. Dentre os 42 trabalhos em que o acesso ao documento completo foi possível, seis eram artigos de revisão da literatura ou aplicações relacionadas ao contexto do BIM na temática [66-71], e um artigo era sobre a aplicação do BIM para o auxílio no processo de ensino-aprendizagem em acústica [53]. Pauwels *et al*. [66] e Mastino *et al*. [67] analisam o modelo de dados IFC e outras possibilidades, como o gbXML, quanto a aplicação para acústica, a partir de estudos de caso e considerações encontradas em outros artigos. Os demais, apresentam visões quanto a aplicação do BIM em acústica por parte de especialistas [69], os procedimentos necessários para um maior sucesso em projetos acústicos envolvendo o BIM [70], e o conceito de PBD (Performance Based Desing), aplicado no campo da acústica, por meio de estudos de caso [71].

Para os 35 artigos restantes, foi observada a área de aplicação em acústica em que se enquadrariam, e foram assumidas três categorias, como apresentado na Figura 13: salas (para trabalhos que envolvem a análise do comportamento acústico em ambientes internos), desempenho (para trabalhos que envolvem a análise do isolamento sonoro entre ambientes) e ambiental (para trabalhos que envolvem a análise do comportamento acústico em espaços abertos). Em quatro casos, duas categorias foram abordadas, havendo a contagem para ambas [45][47][72,73].

Figura 13: Área de aplicação em acústica dos trabalhos disponíveis para acesso.



Fonte: os autores.

A maioria dos artigos abordam a aplicação voltada para a análise do comportamento acústico internamente aos ambientes, com 19 trabalhos com essa temática [40][43-46][48-52][54][57-62][72][74]. São observadas otimizações por meio de funcionalidades como o Dynamo [65] e o Grasshopper [64], aplicações realizadas por meio de programação, e integrações com outros programas para fins de adequação ao uso que se pretende. Na maioria dos casos, a análise se atém ao cálculo do tempo de reverberação dos espaços.

Em 13 trabalhos, o conteúdo aborda estudos quando ao desempenho acústico [38,39][41][45][47][72,73][75-80], com o uso de recursos similares aos encontrados para aplicação em acústica de salas, buscando sistematizar as requisições de qualidade acústica apontadas em literatura ou normativas nacionais e internacionais. Os 7 trabalhos que abordam acústica ambiental [47][55][63][73][81-83], fazem integração com programas externos. Como em acústica ambiental boa parte das aplicações consideram uma escala maior que o modelo construído, é natural que programas especializados sejam necessários.

Até a data de submissão deste trabalho, dois artigos foram encontrados no ano de 2024 [55][74], onde é observado o uso de tecnologias emergentes anunciando grandes avanços, como gêmeos digitais e inteligência artificial.

Em alguns dos artigos selecionados, nota-se que a aplicação da análise acústica não ocorre integralmente dentro do programa de modelagem, sendo este utilizado apenas em uma parte do processo. Outra situação observada é o cálculo acústico a ser realizado no próprio programa de modelagem BIM, contudo, são necessárias transferências de dados ou intervenções realizadas pelo usuário para adaptá-lo às necessidades.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O advento da tecnologia computacional trouxe avanços significativos para os meios de produção em diversos setores, incluindo a indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação das Instalações).

No contexto da simulação do desempenho das edificações, a integração entre o BIM e o BPS (Building Performance Simulation) oferece novas oportunidades para melhorias

no processo. Essa integração reduz substancialmente a perda de informação e o retrabalho, possibilitando um trabalho colaborativo e aumentando a confiabilidade das informações.

O presente artigo apresenta uma revisão sistemática da literatura e meta-análise sobre a aplicação de tecnologias BIM para aplicações em acústica, refletindo o estado da arte nessa área e destacando as oportunidades e desafios para futuras pesquisas e aplicações práticas.

Um total de 58 trabalhos foram selecionados para passar por uma análise bibliométrica e de conteúdo. No entanto, em 17 desses trabalhos, não foi possível acessar o conteúdo completo. As publicações selecionadas abrangem o período entre 2010 e 2024, com o maior volume de publicações provenientes dos Estados Unidos, principalmente no periódico "The Journal of the Acoustical Society of America". Foram identificadas quatro contribuições brasileiras sobre a temática. Entre os programas de modelagem BIM utilizados nos estudos analisados, o Revit se destacou como o mais frequente. Quanto às aplicações em acústica, observou-se que a maioria dos estudos utilizou soluções para análises em acústica de salas.

Recentemente, tem-se percebido uma grande promessa no desenvolvimento de tecnologias emergentes, as quais têm o potencial de oferecer inúmeros benefícios para pesquisas futuras. Exemplos dessas tecnologias incluem os gêmeos digitais, a internet das coisas, o aprendizado de máquina e a inteligência artificial.

Para futuras aplicações, é constatada uma lacuna no desenvolvimento de soluções que priorizem a experiência do usuário, tornando o produto oferecido genuinamente acessível e apto para implementação.

REFERÊNCIAS

[1] BANHAM, R. **Theory and Design in the First Machine Age**. 2nd ed. New York: Praeger Publishers Inc., 1967.

[2] EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 1st ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2008.

[3] OXMAN, R. Theory and design in the first digital age. **Design Studies**, v. 27, n. 3, p. 229-265, 2006.

[4] HOWELL, L.; BATCHELER, B. **Building Information Modelling Two Years Later – Huge Potential, Some Success and Several Limitations**. The LaiserinLetter, USA, 2005.

[5] GRAY, M.; GRAY, J.; TEO, M.; CHI, S.; CHEUNG, F. **Building Information Modelling: An International survey**. World Building Congress 2013. Brisbane, Austrália, 2013.

[6] MCGRAW-HILL CONSTRUCTION. **The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets: How Contractors Around the World Are Driving Innovation with Building Information Modelling**. McGraw Hill Construction Research & Analytics. Bedford, USA, 2014.

[7] SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357-375, 2009.

[8] BUILDINGSMART, 2024. **BuildingSMART International**. Disponível em: https://www.buildingsmart.org/. Acesso em: 16 maio 2024.

[9] gbXML. **Green Building XML (gbXML) Schema**. Disponível em: https://www.gbxml.org/index.html. Acesso em: 17 maio 2014.

[10] DONG, B.; LAM, K. P.; HUANG, Y. C.; DOBBS, G. M. A comparative study of the IFC and gbXML informational infrastructures for data exchange in computational design support environments. **10th International IBPSA Building Simulation Conference**. Beijing, China: 1530-1537 p. 2007.

[11] MALKAWI, A.; AUGENBROE, G. **Advanced Building Simulation**. 1st ed. New York, NY, USA: Spoon Press, 2004.

[12] PINHA, A. P. **Integração entre BIM e BPS: desafios na avaliação de desempenho ambiental na era do projeto e processos digitais**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia da Arquitetura) - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

[13] DOUGLAS, I. **Cities: An Environmental History**. 1st edition. London–New York: Tauris & co. Ltd; 2013.

[14] ALLRED, J. C.; NEWHOUSE, A. Applications of the Monte Carlo method to architectural acoustics. **The Journal of the Acoustical Society of America**, 30:1–3, 1958.

[15] SCHROEDER, M. R.; ATAL, B. S.; BIRD, C. Digital computers in room acoustics**. 4th ICA**, pág. M21, Copenhagen, 1962.

[16] SCHROEDER, M. R. Computer models for concert hall acoustics. **American Journal of Physics**, v. 41, n.4, p. 461– 471, 1973. DOI: 10.1119/1.1987272.

[17] VORLÄNDER, M. **Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality**. First Edition. Berlin: Springer, 2008.

[18] VORLÄNDER, M. Computer simulations in room acoustics: concepts and uncertainties. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 133, n. 3, p. 1203–13, 2013. DOI: 10.1121/1.4788978

[19] VORLÄNDER, M.; SCHRÖDER, D.; PELZER, S.; WEFERS, F. Virtual reality for architectural acoustics. **Journal of Building Performance Simulation**. v. 8, n. 1, p. 15–25, 2015. DOI: 10.1080/19401493.2014.888594

[20] SAKUMA, T.; SAKAMOTO, S.; OTSURU, T. **Computational Simulation in Architectural and Environmental Acoustics: Methods and Applications of Wave-Based Computation**. First Edition. Springer Tokyo, 2014.

[21] ELSEVIER. **Mendeley Reference Manager**. Disponível em: https://www.elsevier.com/products/mendeley Acesso em: 29 maio 2024.

[22] LEPAGE, K. Building information modeling with revit architecture and acoustical coordination. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 127, n. 3, p. 2001, 2010. DOI: 10.1121/1.3385183

[23] MARKHAM, B. Building information management: An acoustics consultant's perspective. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 127, n. 3, p. 2001, 2010. DOI: 10.1121/1.3385182

[24] VEDVIK, R.; MOONEY, J. Distilling the acoustical model from BIM (Building Information Modeling) Standard architectural, mechanical and structural models: Robust acoustical templates, limitations, and recommendations. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 127, n. 3, p. 2001, 2010. DOI: 10.1121/1.3385185

[25] HUNTER, T. Acoustical considerations in future building design processes. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 127, n. 3, p. 1738, 2010. DOI: 10.1121/1.3383490

[26] LARRICK, J. Revit and the role of architectural acoustics in the design process. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 127, n. 3, p. 2001, 2010. DOI: 10.1121/1.3385184

[27] RIFE, D. Acoustic analysis and visualization using real time three-dimensional parametric modeling. **The Journal of the Acoustical Society of America**. v. 128, n. 4, p. 2411, 2010. DOI: 10.1121/1.3508600

[28] VAN DER HARTEN, A. W. Elucidation of acoustical phenomena through the re-tooling of comprehensive acoustical simulations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 139, n. 4, p. 2145, 2016. DOI: 10.1121/1.4950335

[29] MAYELL, M. R.; HOFFMAN, I. B. Parametric design applications in architectural acoustics—Generation and optimization of reflective surfaces for specific source/receiver combinations. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 139, n. 4, p. 2145, 2016. DOI: 10.1121/1.4950336

[30] WEI, W.; WANG, C.; LEE, Y. BIM-Based Construction Noise Hazard Prediction and Visualization for Occupational Safety and Health Awareness Improvement. **Computing in Civil Engineering 2017**, p. 262–269, 2017. DOI: 10.1061/9780784480823.032

[31] SHTREPI, L.; MENICHELLI, J.; ASTOLFI, A.; ECHENAGUCIA, T. M.; MASOERO, M. C. Improving scattering surface design with rapid feedback by integrating parametric models and acoustic simulation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 142, n. 4, p. 2499, 2017. DOI: 10.1121/1.5014125

[32] ERFANI, K.; MAHABADIPOUR, S.; LEE, J.; NIK-BAKHT, M. Compatibility study between building information modeling and acoustic simulation software. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 144, n. 3, p. 1918–1919, 2018. DOI: 10.1121/1.5068403

[33] UNDERWOOD, S. H.; WANG, L. M. Applications of building information modeling software to HVAC noise prediction. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 150, n. 4, p.A101, 2021. DOI: 10.1121/10.0007763

[34] THEDE, J.; BOYTS, N.; TEEL, J.; BUTLER, K.; BARGAS, E.; ROTH, A. Building information modeling (BIM) automation for architectural acoustics, mechanical noise calculation. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 151, n.4, p. A56, 2022. DOI: 10.1121/10.0010643

[35] KOZICZINSKI, B. C.; NIETO, I. C.; STEGMAIER, K. Enhancing acoustical design using parametric optimization of surface geometries. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 151, n. 4, p. A55–A56, 2022. DOI: 10.1121/10.0010641

[36] PRIYADARSHINEE, P.; CHEN, J. M.; BT, B. Efficient deep learning-based prediction of acoustic parameters in atrium spaces using BIM files. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 154, n. 4, p. A272, 2023. DOI: 10.1121/10.0023504

[37] KWON, Y.; KIM, C.; KIM, G. BIM-based sound insulation performance evaluation of interior walls. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 154, n. 4, p. A86, 2023. DOI: 10.1121/10.0022887

[38] SILVA, J. L.; RIBEIRO, L. A.; MUSSI, A. Q.; SILVA, T. L. Programação em plataforma BIM e a Norma de Desempenho Brasileira: Desenvolvimento de uma aplicação para estimativa de performance acústica em projetos arquitetônicos. **XXI Congreso de la Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital**, Concepción, Chile, 2017.

[39] SILVA, J. L.; MUSSI, A. Q.; SILVA, T. L.; ZARDO, P.; RIBEIRO, L. A. Desenvolvimento de plug-ins voltados para a análise de requisitos da norma de desempenho brasileira. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 14, n. 2, p. 46–64, 2019. DOI: 10.11606/gtp.v14i2.147285

[40] MENEGOTTO, J. L.; TORRES, J. C. B. Integração de simulador acústico em ferramenta de modelagem BIM. **PARC Pesquisa Em Arquitetura e Construção**, v. 10, p. e019020, 2019. DOI: 10.20396/parc.v10i0.8653934

[41] FENGLER, B.; SÁ, K.; ROCHA, R. R.; GINER, J. C. Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC. **Acústica e Vibrações**, v. 36, n. 53, 2021. DOI: 10.55753/aev.v36e53.12

[42] AUTODESK. **Autodesk Revit: software BIM para projetar e criar qualquer coisa**. Disponível em: https://www.autodesk.com/br/products/revit/overview Acesso em: 29 Maio 2024.

[43] KIM, S.; COFFEEN, R. C.; SANGUINETTI, P. Interoperability Building Information Modeling and acoustical analysis software - A demonstration of a performing arts hall design process. **Proceedings of Meetings on Acoustics - ICA**, v. 19, Montreal, Canadá, 2013. DOI: 10.1121/1.4800300

[44] WU, C.; CLAYTON, M. J. BIM-Based Acoustic Simulation Framework. **30th CIB W78 International Conference**, Beijing, China, 2013.

[45] JUNEJA, P. Life Cycle Value Tradeoff of Noise Mitigating Measures using BIM-Simulation and Multi Criteria Decision Modeling: Revisit to Healthy School Environments. **International Journal of Facility Management**, v. 6, n. 1, 2015.

[46] TAN, Y.; FANG, Y.; ZHOU, T.; WANG, Q.; CHENG, J. C. P. Improve Indoor Acoustics Performance by Using Building Information Modeling. **34th International Symposium on Automation and Robotics in Construction**, 2017. DOI: 10.22260/ISARC2017/0133

[47] TAN, Y.; FANG, Y.; ZHOU, T.; GAN, V. J. L.; CHENG, J. C. P. BIM-supported 4D acoustics simulation approach to mitigating noise impact on maintenance workers on offshore oil and gas platforms. **Automation in Construction**, v. 100, p. 1–10, 2019. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.12.019

[48] AGUILAR-AGUILERA, A. J.; DE LA HOZ-TORRES, M. L.; MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; RUIZ, D. P. BIM-based framework for indoor acoustic conditioning in early stages of design. **Internoise**, Madrid, 2019. URL: https://www.sea-acustica.es/INTERNOISE_2019/Fchrs/Proceedings/1729.pdf

[49] ERFANI, K.; MAHABADIPOUR, S.; NIK-BAKHT, M.; LI, J. BIM-based simulation for analysis of reverberation time. **Building Simulation Conference Proceedings**, v. 1, p. 63–67, 2019. DOI: 10.26868/25222708.2019.211379

[50] NIK-BAKHT, M.; LEE, J.; DEHKORDI, S. H. Bim-based reverberation time analysis. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 26, p. 28–38, 2021. DOI: 10.36680/j.itcon.2021.003

[51] SUŠNIK, M.; TAGLIABUE, L. C.; CAIROLI, M. **BIM-based energy and acoustic analysis through CVE tools**. Energy Reports, v. 7, p. 8228-8237, 2021. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.06.013

[52] AGUILAR, A. J.; DE LA HOZ-TORRES, M. L.; MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; RUIZ, D. P. Development of a BIM-Based Framework Using Reverberation Time (BFRT) as a Tool for Assessing and Improving Building Acoustic Environment. **Buildings**, v. 12, n. 5, 2022. DOI: 10.3390/buildings12050542

[53] DE LA HOZ-TORRES, M. L.; AGUILAR, A. J.; MARTÍNEZ-AIRES, M. D.; RUIZ, D. P. Modelling and visualization for the analysis and comprehension of the acoustic performance of buildings through the implementation of a building information modelling – based methodology. **The Journal of the Acoustical Society of America**, v. 152, n. 3, p. 1515–1527, 2022. DOI: 10.1121/10.0013886

[54] CAIROLI, M.; TAGLIABUE, L. C. Digital Twin for Acoustics and Stage Craft Facility Management in a Multipurpose Hall. **Acoustics**, v. 5, n. 4, p. 909–927, 2023. DOI: 10.3390/acoustics5040053

[55] BABAZADEH, N.; TEIZER, J.; BARGSTÄDT, H. J.; MELZNER, J. Predictive simulation of construction site noise emissions from heavy equipment. **Smart and Sustainable Built Environment**, 2024. DOI: 10.1108/SASBE-08-2023-0226

[56] ROBERT MCNEEL & ASSOCIATES. **Rhinoceros: design, model, present, analyze, realize...**Disponível em: https://www.rhino3d.com/ Acesso em: 29 Maio 2024.

[57] VAN DER HARTEN, A. Pachyderm Acoustical Simulation Towards Open-Source Sound Analysis. **Architectural Design**, v. 83, n. 2, p. 138–139, 2013. DOI: 10.1002/ad.1570

[58] ROBINSON, P. W.; SILTANEN, S.; LOKKI, T.; SAVIOJA, L. Concert Hall Geometry Optimization with Parametric Modeling Tools and Wave-Based Acoustic Simulations. **Building Acoustics**, v. 21, n. 1, p. 055-064, 2014. DOI: 10.1260/1351-010X.21.1.55

[59] LU, S.; YAN, X.; XU, W.; CHEN, Y.; LIU, J. Improving auditorium designs with rapid feedback by integrating parametric models and acoustic simulation. **Building Simulation**, v. 9, n. 3, p. 235–250, 2016. DOI: 10.1007/s12273-015-0268-x

[60] SHTREPI, L.; ECHENAGUCIA, T. M.; BADINO, E.; ASTOLFI, A.; DI TORINO, P.; ZÜRICH, E. Optimizing diffusive surface topology through a performance-based design approach. **International Symposium on Room Acoustics**, Amsterdam, Netherlands, 2019.

[61] SHTREPI, L.; ECHENAGUCIA, T. M.; BADINO, E.; ASTOLFI, A. A performance-based optimization approach for diffusive surface topology design. **Building Acoustics**, v. 28, n. 3, p. 231–247, 2021. DOI: 10.1177/1351010X20967821

[62] SORIANO, J. S.; WRIGHT, O.; VAN DEN BRAAK, E.; DAY, C. Stage acoustics and parametric design: The development of an integrated early design tool. **Building Acoustics**, 28(3), 265–279, 2021. DOI: 10.1177/1351010X20971102

[63] KAMEL, T. M. Integrating a parametric tool in design process to improve the acoustic behavior of the asphalt finishing materials: A case study for housing typologies for low- and middle-income residents. **Noise Mapping**, v. 9, n. 1, p. 157–169, 2022. DOI: 10.1515/noise-2022-0157

[64] DAVIDSON, S. **Grasshopper: algorithmic modeling for Rhino**. Disponível em: https://www.grasshopper3d.com/ Acesso em: 29 Maio 2024.

[65] AUTODESK. **Dynamo: Sobre**. Disponível em: https://dynamobim.org/ Acesso em: 29 Maio 2024.

[66] PAUWELS, P.; VAN DEURSEN, D.; VERSTRAETEN, R.; de ROO, J.; de MEYER, R.; VAN de WALLE, R.; VAN CAMPENHOUT, J. A semantic rule checking environment for building performance checking. **Automation in Construction**, v. 20, n. 5, p. 506–518, 2011. DOI: 10.1016/j.autcon.2010.11.017

[67] MASTINO, C. C.; BACCOLI, R.; FRATTOLILLO, A.; MARINI, M.; DI BELLA, A.; DA POS, V. The Building Information Model and the IFC Standard: Analysis of the Characteristics Necessary for the Acoustic and Energy Simulation of Buildings. **Proceedings of BSA Conference 2017: Third Conference of IBPSA**, Italy, 2017. URL: https://publications.ibpsa.org/conference/ paper/?id=bsa2017_9788860461360_59

[68] KIRKEGAARD, P. H.; KAMARI, A. (2017). Building Information Modeling (BIM) for indoor environmental performance analysis. **Civil and Architectural Engineering Technical Report CAE-TR-3**, Aarhus University, 86 p., 2017. ISSN: 2246-0942

[69] JUNG, N.; HÄKKINEN, T. Extending capabilities of BIM to support Performance Based Design. **Journal of Information Technology in Construction (ITcon)**, v. 23, p. 16-52, 2018. URL: http://www.itcon.org/2018/2

[70] MASTINO, C. C.; DI BELLA, A.; SEMPRINI, G.; FRATTOLILLO, A.; MARINI, M.; DA POS, V. BIM application in design and evaluation acoustic performances of buildings. **25th International Congress on Sound and Vibration 2018**, Hiroshima Calling, v. 7, p. 4241–4248, 2018.

[71] BADINO, E.; SHTREPI, L.; ASTOLFI, A. Acoustic Performance-Based Design: A Brief Overview of the Opportunities and Limits in Current Practice. **Acoustics**, v. 2, n. 2, p. 246–278, 2020. DOI: 10.3390/acoustics2020016

[72] CANIATO, M.; BETTARELLO, F.; BELLÈ, M.; GASPARELLA, A. Acoustic Refurbishment on a Temporary Auditorium: BIM Design and Interventions Influences. **Proceedings of BSA Conference 2019: Fourth Conference of IBPSA**, Italy, p. 251–258, 2019. URL: https://publications.ibpsa.org/conference/paper/?id=bsa2019_9788860461766_31

[73] BUTORINA, M.; DROZDOVA, L.; KUKLIN, D.; SHARKOV, A.; AREF'EV, K.; SOPOZHNIKOV, S.; TOPAZH, G.; LYAMAEV, B.; NAGORNYY, V.; SIMONOV, A.; MUHAMETOVA, L. Implementation of noise data into building information model (BIM) to reduce noise in the environment and at workplace. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 337, n. 1, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/337/1/012083

[74] CAIROLI, M. Wooden Rehearsal Rooms from the Construction Process to the Musical Performance. **Acoustics**, v. 6, n. 1, p. 114–133, 2024. DOI: 10.3390/acoustics6010007

[75] MASTINO, C. C.; CONCU, G.; BACCOLI, R.; FRATTOLILLO, A.; DI BELLA, A. Methods for acoustic classification in buildings: An example of application of BIM procedures on wooden buildings. **Internoise**, Madrid, 2019.

[76] MASTINO, C. C.; BACCOLI, R.; FRATTOLILLO, A.; MARINI, M.; SALARIS, C. Acoustic insulation and building information modeling: A model of calculation for the code checking in the forecast phase and of measurement of performance. **Building Simulation Conference Proceedings**, v. 1, p. 205–212, 2019.

[77] MONTENEGRO, V. D.; AGNOLIN, S.; DUCRUET, P. Development of an architectural acoustic study through a complete Open BIM workflow. **Euronoise**, Madeira, Portugal, 2021.

[78] CHÂTEAUVIEUX-HELLWIG, C.; ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. Analysis of early-design timber models for sound insulation. **Advanced Engineering Informatics**, v. 53, p. 101675, 2022. DOI: 10.1016/j.aei.2022.101675

[79] CHÂTEAUVIEUX-HELLWIG, C.; ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. A proposed IFC extension for timber construction buildings to enable acoustics simulation**. European Conference on Product and Process Modelling**, Trondheim, Norway, 2022. DOI: 10.1201/9781003354222-94

[80] MASTINO, C. C.; FRATTOLILLO, A.; RICCIU, R.; BACCOLI, R. Acoustic and energy characterization of buildings with the use of BIM. **Forum Acusticum 2023**, p. 55–58, 2023. DOI: 10.61782/fa.2023.1278

[81] CHENG, J. C. P.; DENG, Y. Mapping BIM schema and 3D GIS schema semi-automatically utilizing linguistic and text mining techniques. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 20, p. 193-212, 2015. URL: https://www.itcon.org/paper/2015/14

[82] DENG, Y.; CHENG, J. C. P.; ANUMBA, C. A framework for 3D traffic noise mapping using data from BIM and GIS integration. **Structure and Infrastructure Engineering**, v. 12, n. 10, p. 1267–1280, 2016. DOI: 10.1080/15732479.2015.1110603

[83] DENG, Y.; CHENG, J. C. P.; ANUMBA, C. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. **Automation in Construction**, v. 67, p. 1–21, 2016. DOI: 10.1016/j.autcon.2016.03.006