

Simulação do desempenho acústico de um modelo BIM a partir do esquema de dados IFC

Fengler, B.^{1, 2}; Sá, K. S.²; Rossatto, R. R.²; Giner, J. C.²

¹ Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, barbarafengler@usp.br

² Giner, São Paulo, SP, {barbara, karina, raquel, jcginer}@giner.com.br

Resumo

O presente artigo tem como objetivo principal verificar a possibilidade de utilizar um modelo em Modelagem da Informação da Construção, BIM - *Building Information Modeling*, para estimar o desempenho acústico de uma divisória. Para a análise, foi realizado um projeto simplificado em *software* específico de modelagem BIM e exportado o esquema de dados *Industry Foundation Classes*, IFC. De posse do esquema de dados, foram extraídas todas as informações geométricas e especificações do projeto no arquivo IFC com auxílio da biblioteca *IfcOpenShell* em Python. Com os dados extraídos, foram realizados os cálculos para determinação do desempenho acústico com Análise Estatística Energética (SEA) em *software* de processamento de sinais. Para fins de comparação, foi realizada a simulação de desempenho acústico do mesmo projeto no *software* comercial SONArchitect ISO, seguindo os procedimentos usuais de simulação. As propriedades dos materiais consideradas tanto no cálculo por SEA quanto na simulação pelo *software* comercial foram as mesmas. Foi definido o parâmetro $D_{nT,w}$ para análise por ser requisito da norma de desempenho ABNT NBR 15575. Apesar das limitações dos cálculos de desempenho acústico por SEA verificadas e da complexidade para extração das informações necessárias do IFC, foram obtidos resultados de $D_{nT,w}$ próximos, sendo entretanto notável uma divergência maior em baixas frequências, estando de acordo com estudos anteriores. Dessa forma, conclui-se que o objetivo principal do presente estudo foi alcançado, uma vez que mostra ser possível a realização de simulações de desempenho acústico com um modelo BIM.

Palavras-chave: desempenho acústico, simulação, BIM, IFC.

PACS: 43.50.Sr, 43.55.Ka, 43.58.Ta.

Acoustic Performance Simulation of a BIM model from the IFC Data Schema

Abstract

This article has the objective of verifying the possibility of using a BIM (Building Information Modeling) model to estimate the acoustic performance of a partition. For that goal, a simplified BIM model using a specific software was realized and the Industry Foundation Classes (IFC) data schema of these model was exported. With the data, all the geometrical information and specifications of the project on the IFC with the *IfcOpenShell* library were extracted using the Python tool. With the extracted data, the Statistical Energy Analysis (SEA) was used to determinate the acoustic performance. The calculation was performed in the signal processing software. For comparison purposes, the simulation of the same project was performed using the commercial software SONArchitect ISO, following the usual simulation procedures. The material properties considered in SEA analysis were the same for the simulation in commercial software. The parameter $D_{nT,w}$ was defined for analysis as it is a requirement of the Brazilian performance standard ABNT NBR 15575. Despite the limitations of the acoustic performance calculations by SEA and the complexity to extract information of IFC, close results were obtained comparing the two methodologies. However, it was remarkable a larger divergence in the low frequencies, according to previous studies. Thus, the main objective was achieved, since it is possible to perform simulations of acoustic performance with a BIM model.

Keywords: Acoustic performance, simulation, Building Information Modeling, IFC.

1. INTRODUÇÃO

Em 2013, foi aprovada a norma técnica ABNT NBR 15575 Edificações Residenciais – Desempenho [1], dividida em seis partes, sendo a maioria dessas partes revisadas em 2021 [2]. Embora no Brasil não seja obrigatória a aplicação de normas técnicas, o Código de Proteção e Defesa do consumidor [3] determina que em um processo de compra e venda todos os padrões técnicos devem ser atendidos.

A norma de desempenho ABNT NBR 15575 [2] estabelece requisitos acústicos para ruído aéreo que devem ser atendidos por elementos de vedação vertical (externa e interna). Já sistemas de piso devem estar de acordo com os critérios de ruído aéreo e de ruído de impacto. A mesma norma ainda apresenta valores de referência para sistemas prediais, sendo esses apenas de caráter informativo, portanto, não obrigatório. Todos esses requisitos são categorizados para atendimento ao desempenho mínimo (M), intermediário (I) e superior (S).

A aprovação de uma norma técnica que apresenta critérios para desempenho acústico é um grande passo para garantir melhores condições de moradia ao consumidor final, mesmo que os valores da norma sejam relativamente brandos se comparados com regulamentações de outros países como Portugal, Alemanha e Argentina, conforme Rasmussen [4] e Instituto Argentino de Normalização e Certificação [5].

Paralelamente, existe a necessidade de economia por parte das construtoras. Para isso, uma boa prática comum para evitar futuros problemas, reclamações e despesas não previstas em orçamento é a realização de simulações computacionais de desempenho de diversas disciplinas. Ao simular o desempenho acústico dos elementos construtivos tradicionais, os resultados das simulações são muito exatos em relação às medições realizadas *in loco* posteriormente [6].

Contendo geometria precisa e dados relevantes das construções, o modelo BIM (*Building Information Modeling*) apresenta-se adequado para a realização de simulações acústicas [7]. De acordo com a NBR/ISO 12006-2 [8], o termo

Building Information Modeling pode ser traduzido como Modelagem da Informação da Construção. De acordo com Tan [7], no mercado de construção civil, nos últimos anos, o termo BIM deixou de ser um modismo com poucos pioneiros, para ser a peça central da tecnologia do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), abordando aspectos de projeto, construção e operação de edifícios. Com essa tecnologia, um modelo preciso de um edifício é construído digitalmente [9].

Segundo Corrêa e Santos [10], o processo BIM permite um fluxo de trabalho colaborativo e mais eficiente tanto em empreendimentos de edificações, quanto de infraestrutura pesada. O esquema de dados *Industry Foundation Classes*, IFC, promovido pela organização BuildingSMART, tornou-se um padrão internacional para consolidar a interoperabilidade durante todo o ciclo de vida da edificação.

De maneira simples, o esquema de dados IFC pode ser entendido como um arquivo de texto exportado do modelo BIM, o qual foi construído digitalmente em *software* específico. Esse arquivo apresenta todos os dados e especificações que foram inseridos no modelo, a partir de uma estrutura de informações orientada a objetos. A organização BuildingSMART tem concentrado seus esforços para desenvolver o esquema de dados IFC a fim de viabilizar o OpenBIM, *software* gratuito, e consequentemente evitar a utilização do BIM apenas em *software* e desenvolvedores já consolidados no mercado mundial.

Além disso, o decreto nº 9.983, de 22 de agosto de 2019 [11] instituiu estratégias para disseminação do BIM no Brasil. Em alguns estados do país, como os de Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, licitações para obras públicas já estão restritas ao BIM [12]. Além dos incentivos legislativos, estudos como o de Suermann e Issa [13] mostram as vantagens da utilização do BIM em termos de qualidade, preço e prazo das obras. Nesse sentido, a adoção do processo BIM no Brasil tende a aumentar.

Recentemente, houve um esforço pela adoção

de ferramentas de *software* BIM em projetos acústicos [14]. Entretanto, os dados geralmente são recuperados de um modelo BIM e são utilizados em *software* de simulação acústica, como EASE, Odeon e CATT-Acoustics [15].

O presente artigo busca avaliar a possibilidade de identificar no esquema de dados IFC todas as informações necessárias e utilizá-las para cálculo do isolamento acústico de um sistema construtivo. Esse cálculo, por sua vez, é realizado conforme método de simulação baseada em Análise Estatística de Energia, SEA (*Statistical Energy Analysis*). Dessa forma, caso seja possível obter facilmente os parâmetros necessários do IFC, evita-se o uso de modelos simplificados, seja para utilizar *software* comercial de simulação acústica, conforme apresentado por Forneck [16], ou para realizar as simulações acústicas localmente no *software* BIM conforme Erfani [14].

2. REFERENCIAL TEÓRICO

De acordo com Corrêa e Santos [10], “o IFC é um modelo de dados que procura representar todos os componentes ou objetos relevantes ao ambiente construído.” Assim, os modelos digitais podem ser trocados entre diferentes plataformas e ferramentas de *software*, possibilitando uma adequada e detalhada troca de informações entre projetistas, fornecedores, construtores, orçamentistas etc. No esquema de dados IFC podem ser encontradas diversas informações, como o local da futura construção até especificações das composições construtivas.

Tendo essa informação em vista, não só projetistas acústicos quanto de diversas disciplinas não têm medido esforços para conseguir utilizar essa grande quantidade de dados para realizar e/ou alimentar suas análises. Simulações de desempenho estrutural, por exemplo já podem ser realizadas localmente em *software* de modelagem BIM com *plug-in* específico. Para estudos acústicos, não existem, ainda, aplicativos próprios dentro dos *software* de modelagem BIM capazes de realizar os cálculos necessários avançados, devido às diferenças entre os modelos de dados [17].

Na área de acústica, alguns estudos [7, 14] mostram resultados satisfatórios com a utilização de BIM. Os estudos realizaram comparações entre simulações realizadas de maneira tradicional, sem utilização do BIM, e a partir dos dados IFC. Entretanto, em ambos os casos, foram necessárias simplificações nos modelos para conseguir realizar as simulações. Vale ponderar que o estudo de Tan [7] apresentou problemas de interoperabilidade entre o BIM e o *software* de análise acústica, limitando as aplicações na prática. Os estudos citados foram realizados para simulação do tempo de reverberação das salas. No entanto, o presente artigo busca a realização da simulação do desempenho acústico referente ao isolamento acústico entre salas adjacentes, conforme parâmetros apresentados pela norma de desempenho ABNT NBR 15575 [2].

Já o estudo de Erfani [14] apresenta como uma possível solução para esse problema a execução das simulações acústicas localmente no *software* BIM. Nesse estudo, foi atingido o objetivo de integração, o que, conforme indicado pelos autores, poderia aumentar a produtividade, facilitando ciclos de *feedback* entre arquiteto e projetista acústico. Entretanto, os autores do estudo citado não conseguiram realizar isso sem simplificações no modelo.

Para cálculo de desempenho de isolamento acústico a partir do modelo BIM, o *software* CypeCad MEP utiliza os dados IFC para cálculo conforme norma ISO 12354 [18]. O CypeCad MEP, desenvolvido para detalhamento e dimensionamento de instalações prediais, é um dos *software* integrantes do Cype 2016, constituído para interligar diversos módulos [16]. Entretanto, Forneck [16] conclui em seu estudo que, para realizar o cálculo de desempenho acústico com o *software* citado, é necessário redesenhar o modelo BIM de forma simplificada. Nesse caso, seria perdido todo o nível de especificação e detalhamento, bases essenciais do conceito BIM.

Utilizando o mesmo *software*, o estudo de Montenegro [17] apresenta a viabilidade de realizar simulações similares às requeridas pela norma de desempenho brasileira [2], entretanto apenas

com um fluxo de trabalho específico e a necessidade de ajuste do modelo arquitetônico para um modelo analítico para realização dos cálculos de isolamento acústico dos sistemas definidos.

Para divisórias entre unidades habitacionais autônomas, a norma ABNT NBR 15575 [2] apresenta requisitos da diferença padronizada de nível ponderada, $D_{nT,w}$. Assim, baseado em SEA, é possível calcular o $D_{nT,w}$ para a divisória entre os dois ambientes do modelo avaliado. Esse parâmetro é calculado a partir do resultado das medições da Perda de Transmissão, TL (*Transmission Loss*), realizadas por meio do procedimento descrito na ISO 16283-1 [19] e com procedimento de ponderação definido pela ISO 717-1 [20].

A metodologia de simulação SEA é aplicada em diversas áreas da engenharia. No caso específico para isolamento acústico, o método é utilizado para prever a perda de transmissão sonora, a resistência à radiação e a amplitude de vibração de uma partição [21]. O cálculo considera as propriedades físicas do elemento de separação e as características geométricas dos ambientes e do próprio elemento de partição. É simulada uma quantidade de energia sendo gerada em uma das salas e, a partir das características dos elementos construtivos, é estimada a perda da energia e, assim, a energia sonora que é transmitida à sala adjacente. Com base nesses valores verificados em cada ambiente, é possível calcular o isolamento acústico da partição, dado pela $D_{nT,w}$.

No cenário atual de projetos de isolamento acústico, é utilizada como referência a norma ISO 12354 [18], que apresenta metodologia de cálculos para a simulação de propagação de ruído em diferentes sistemas, tanto para ruído aéreo, quanto para ruído de impacto. Os métodos de cálculos apresentados especificamente na parte 1 da norma [18] são derivados da metodologia SEA. Mesmo que decorrentes dessa metodologia, torna-se importante salientar que os procedimentos apresentados pela ISO 12354-1 consideram as transmissões secundárias, não levadas em conta nos modelos mais simples em SEA.

Para o cálculo de isolamento acústico, conforme apresentado por Crocker e Price [21], é considerada a energia dentro de um dos ambientes e a transmissão para os demais ambientes é calculada pela transmissão direta, por meio da Lei da Massa. Ainda, são analisados também os fatores de perda pelos acoplamentos de todas as conexões existentes e por amortecimento, sendo necessário, para isso o cálculo de densidade modal da divisória, número de ondas de flexão dos elementos de partição e as densidades modais dos ambientes em análise.

É relevante ressaltar que em seus estudos, Crocker e Price [21] verificaram uma variação entre resultados estimados por meio do SEA e medidos, devido às simplificações das condições de contorno. O mesmo estudo ainda alerta para uma limitação do método em baixas frequências.

3. METODOLOGIA

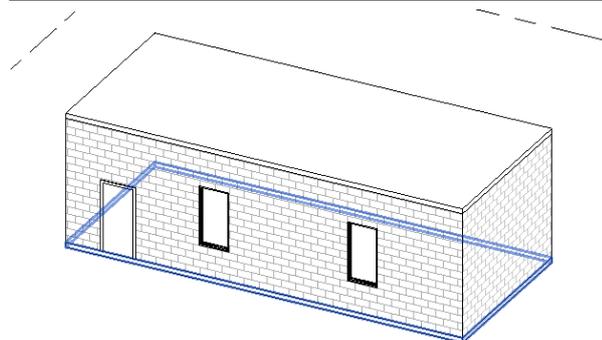
Para fins de estudo, foi escolhido verificar inicialmente apenas o desempenho acústico para ruído aéreo de uma divisória, a fim de validar os procedimentos de análise e cálculos. Para isso, foi utilizado um modelo de uma edificação simples em BIM, modelado no *software* REVIT 2020 e tendo seu arquivo IFC exportado na versão de esquema de dados do IFC 2x3. O modelo estudado é apresentado na Figura 1.

O mesmo projeto foi considerado para simulação da forma convencional, que se resume a redesenhar o modelo no *software* comercial de simulação acústica SONArchitect ISO e realizar as simulações de desempenho acústico localmente.

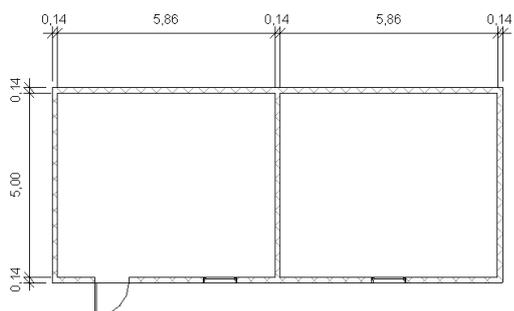
No presente estudo, o desafio é conseguir utilizar os dados do modelo BIM contidos no esquema IFC para simulação de desempenho acústico sem a necessidade de redesenhar o modelo.

3.1 Simulação de desempenho acústico - modelo BIM a partir dos dados IFC

Sendo o esquema IFC um conjunto completo de dados em formato de texto com todas as infor-



(a) Modelo BIM do projeto estudado.



(b) Planta do projeto estudado.

Figura 1: Modelo do projeto de estudo avaliado em ambas metodologias.

mações do projeto [10], a partir desse arquivo exportado do modelo de estudo, foram verificados e extraídos todos os parâmetros necessários por meio de uma rotina em linguagem de *script* Python, com a biblioteca de código aberto IFCOpenShell [22], que tem por objetivo auxiliar os usuários e desenvolvedores a trabalharem com formato de arquivo IFC. Essa rotina foi desenvolvida para localizar e resgatar as informações necessárias para o estudo acústico sem que seja necessário ter um *software* comercial para verificação no próprio modelo BIM. Isso é possível tendo em vista que as informações dentro do IFC são organizadas em uma estrutura de programação orientada à objetos, desde a identificação dos ambientes até a composição e propriedades sobre cada um dos sistemas construtivos.

Por meio da rotina, foram identificados os ambientes e desses extraídas as informações geométricas. Também foram localizadas dentro do esquema de dados IFC cada uma das vedações dos

ambientes e obtidas suas características, como espessura total, composição e espessura de cada camada, existência ou não de esquadrias, área e especificação das esquadrias existentes etc. Os parâmetros identificados a partir dos dados contidos no arquivo IFC foram: volume e área de cada um dos ambientes; área, composição e espessura da divisória entre esses ambientes, ou seja, da divisória em análise. Além da divisória em questão, podem ser verificadas as propriedades das demais composições, como divisórias secundárias, laje inferior e superior, que contribuem para o isolamento acústico, através das chamadas transmissões secundárias.

Após serem identificadas as composições das vedações dos ambientes, os sistemas construtivos foram modelados no Insul [23], *software* comercial com um banco de dados de materiais com suas respectivas propriedades. Modelados os sistemas, foram extraídos os parâmetros, como densidade, módulo de elasticidade e razão de Poisson para utilização nos cálculos da simulação. O Quadro 1 apresenta as informações extraídas do IFC e propriedades verificadas no Insul.

Quadro 1: Dados considerados nas simulações.

Informação/ Propriedade	Valor	Retirado de
Área sala recepção	29,3 m ²	Modelo/IFC
Área sala emissão	29,3 m ²	Modelo/IFC
Pé direito	3,86 m	Modelo/IFC
Área janelas	1,5 m ²	Modelo/IFC
Área porta	2 m ²	Modelo/IFC
Área parede de gemação	19,3 m ²	Modelo/IFC
Tipo da partição	Bloco de concreto estrutural	Modelo/IFC
Espessura da partição	14 cm	Modelo/IFC
Densidade da partição	940 kg/m ³	Insul
Módulo de Elasticidade	2,54 GPa	Insul
Razão de Poisson	0,006	Insul

De posse desses dados, os cálculos de análise estatística energética foram realizados no *software* de processamento de sinais, Matlab, no qual foi desenvolvida uma rotina própria para os cálculos. Os dados de entrada para o cálculo foram as características geométricas, extraídas do IFC, e as propriedades dos materiais, verificadas no Insul, todas especificadas anteriormente.

Para cálculo baseado em SEA, o presente estudo utilizou na íntegra os procedimentos de cálculo apresentados por Crocker e Price [21]. A metodologia considera dois sistemas acoplados por um painel e, a partir das características desses 3 elementos, a transmissão da energia direta entre os sistemas e entre os sistemas e o painel.

De forma geral, o cálculo consiste em considerar uma determinada energia sonora no ambiente denominado “1” e verificar o Nível de Pressão Sonora, NPS. A partir das propriedades físicas e geométricas utilizadas como dado de entrada, são calculados os números de onda de flexão e densidade modal da parede de geminação e os fatores de perda por acoplamento e amortecimento. Com isso, é calculada a perda de transmissão da divisória. De posse dessa perda de transmissão, pode ser calculada a energia transmitida para o segundo ambiente, e a partir disso, o NPS no ambiente “2”. Essa etapa busca simular o que é feito a partir da medição *in loco* normatizada pela ISO 16283-1 [19].

Com os níveis de pressão sonora médios em cada uma das salas e ponderação decorrente do tempo de reverberação, é possível calcular a diferença padronizada de nível D_{nT} para cada banda de frequência, conforme o procedimento apresentado na ISO 16283-1 [19]. Para fins de simulação e comparação entre as metodologias, o valor do tempo de reverberação considerado foi de 0,5 s, tempo de reverberação de referência, visto que no modelo de estudo não foram definidas os materiais de acabamento considerados.

Por fim, para determinar o desempenho acústico como um valor único, utiliza-se o procedimento descrito na ISO 717-1 [20], sendo realizado um

ajuste da curva de referência em relação à curva da diferença padronizada do nível de pressão sonora no passo de 1 em 1 dB até que a soma das diferenças (apenas para D_{nT} medido menor que o da referência) entre referência e D_{nT} medido seja próxima, mas não maior, do que 32 dB. O $D_{nT,w}$ será o valor dessa curva ajustada em 500 Hz.

3.2 Simulação de desempenho acústico - forma convencional

Para fins de comparação, foi simulado o mesmo modelo no *software* comercial SONArchitect ISO (versão 3.1.11), utilizado pelas principais empresas de consultoria acústica no Brasil. O modelo gráfico de simulação nesse *software* pode ser visualizado na Figura 2, sendo representados os ambientes receptor (em azul) e emissor (vermelho).

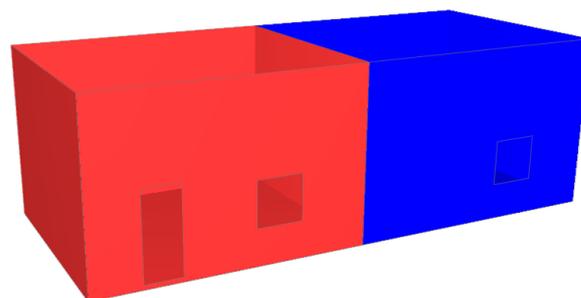


Figura 2: Modelo de simulação no *software* SONArchitect ISO.

O *software* utiliza para simulação os cálculos apresentados pela norma ISO 12354:2017 [18]. No *software* SONArchitect ISO são consideradas as propriedades da divisória importadas do *software* Insul. Dessa forma, é possível garantir que tanto o modelo geométrico quanto as propriedades físicas dos materiais considerados em ambos os modelos são exatamente os mesmos.

A fim de auxiliar no entendimento da metodologia adotada, a Figura 3 apresenta um esquema resumido e explicativo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Seguindo a metodologia apresentada na Seção 3, o $D_{nT,w}$ obtido através do cálculo realizado em

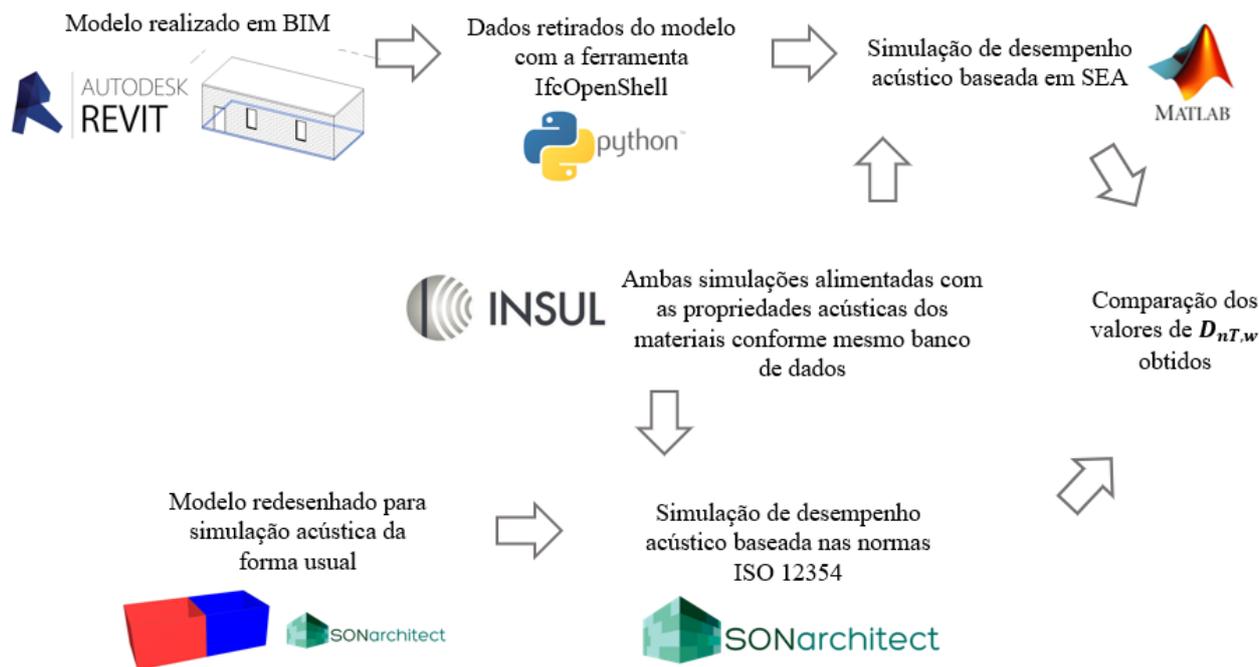


Figura 3: Resumo explicativo da metodologia utilizada.

software de processamento de sinais, com os parâmetros extraídos do IFC com a análise estatística energética, foi de 42 dB. Já na simulação de desempenho acústico pelo *software* SONArchitect ISO, o valor resultante foi de 44 dB.

O desempenho acústico obtido por meio de cada uma das metodologias de simulação utilizadas e as respectivas curvas de referência podem ser verificados na Figura 4.

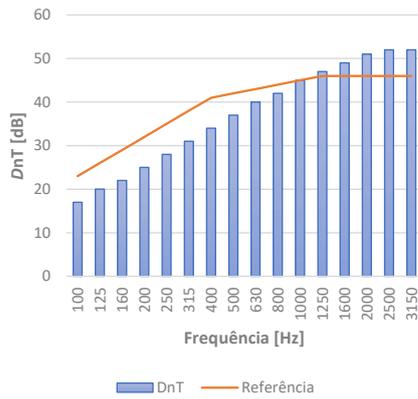
Apesar do resultado ponderado, $D_{nT,w}$, estar próximo entre as simulações, é possível verificar uma diferença considerável entre os resultados, especialmente nas baixas frequências. Em 63 Hz o erro absoluto entre os valores de D_{nT} obtidos por cada um dos métodos chega a 20 dB. Com o aumento da frequência, o erro absoluto entre os métodos diminui e a partir de 500 Hz, a diferença é de 1 dB na maioria das bandas de frequência, conforme indicado na Figura 5. De acordo com Cotoni [24] e Crocker e Price [21], as simulações baseadas em SEA apresentam, de fato, uma limitação nessa faixa de frequências.

Ainda, é importante considerar que o resultado no *software* SONArchitect ISO é bastante confiável, uma vez que, conforme indicado por Simmons [25], há uma diferença em média de

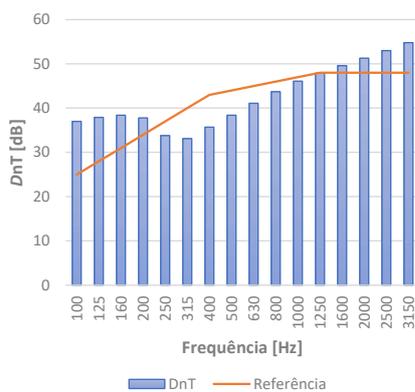
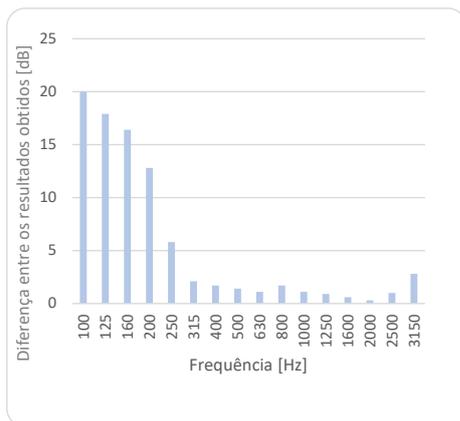
3 dB entre valores medidos *in loco* e simulados de acordo com os procedimentos da norma ISO 12354 [18]. O estudo de Romero [26] mostra que no cenário nacional é atingido o mesmo padrão de exatidão. É importante ponderar, ainda, que a diferença entre os valores globais encontrados em cada uma das metodologias é inferior à diferença usual entre valores simulados e ensaiados em campo verificados por Simmons [25].

Conforme indicado por Craik [6], deveriam ser considerados os materiais utilizados nas chamadas transmissões secundárias (composição de piso e de forro, nesse caso), transmissões por “junta T” etc. Nos cálculos realizados de acordo com a ISO 12354 [18], ou seja, pelo *software* SONArchitect ISO, essas características são consideradas.

É importante enfatizar também que para obter os parâmetros necessários, o modelo BIM deve ser construído de maneira correta: com a criação de espaços e as propriedades inseridas de maneira específica no modelo digital, o que infelizmente ainda não é a realidade de parte dos projetos no Brasil. Nesse sentido, os estudos da comissão ABNT/CEE-134 - Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da



(a) Simulação com análise energética (SEA).

(b) Simulação com o *software* comercial SONArchitect ISO.**Figura 4:** Resultados de D_{nT} obtidos.**Figura 5:** Erro absoluto entre valores de D_{nT} obtidos a partir de simulação com análise energética (SEA) e com o *software* comercial SONArchitect ISO.

Construção - tem a importante função de buscar essa padronização.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos se mostram satisfatórios, uma vez que se conseguiu realizar a simulação de desempenho acústico a partir dos dados extraídos do IFC, embora o resultado não tenha sido muito compatível com a metodologia de simulação de desempenho acústico usual. Ainda, é necessário evidenciar que o presente estudo é inicial e simplificado.

A diferença do valor ponderado, $D_{nT,w}$, entre as simulações no presente estudo pode ser decorrente tanto da limitação do modelo SEA para baixas frequências, como da desconsideração das transmissões secundárias. Ainda, é importante ressaltar que em um modelo mais complexo, como normalmente tem-se em edificações residenciais, essas outras transmissões tendem a apresentar uma influência ainda maior nos resultados.

Mesmo com essas diferenças entre as metodologias de cálculo empregadas, o objetivo principal do presente estudo foi alcançado, uma vez que fica evidente que podem ser realizadas simulações de desempenho de isolamento acústico a partir do IFC de um modelo BIM. É notório, entretanto, que devem ser realizados estudos mais aprofundados que utilizem os dados do modelo IFC e cálculos de todos os requisitos apresentados pela norma ABNT NBR 15575 [2], utilizando os procedimentos de cálculo apresentados pela norma ISO 12354 [18].

Vale ressaltar que o modelo BIM utilizado foi construído especificamente para o presente estudo. Por esse motivo, pode ser considerado um modelo bastante simplório e relativamente fácil de ser analisado com a ferramenta IfcOpenShell. Entretanto, em projetos reais a quantidade de informações será muito maior, aumentando a dificuldade de análise, identificação dos ambientes e extração das informações necessárias a partir da ferramenta IfcOpenShell.

Além de futuros estudos fundamentais como análise de modelos mais complexos e com as metodologias de cálculos da norma ISO 12354 [18], pretendidas pela equipe de pesquisa, outras etapas se mostram importantes por parte

dos desenvolvedores de *software*, como automação do processo.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa Giner por disponibilizar o acesso aos *software* utilizados na presente pesquisa e pelo incentivo à sua equipe para desenvolvimento neste e em demais assuntos pertinentes.

REFERÊNCIAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro, 2013.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15575: Edificações habitacionais - desempenho*. Rio de Janeiro, 2021.
3. BRASIL. *Código de Defesa do Consumidor*. [S.l.], 1900. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil03/Leis/L8078.html>.
4. RASMUSSEN, Birgit. Building acoustic regulations in Europe - Brief history and actual situation. In: *NORDIC ACOUSTIC ASSOCIATION. Baltic-Nordic Acoustics Meeting 2018*. [S.l.], 2018. p. 1–16.
5. INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. *IRAM 4044: Protección contra el ruido en edificios. Requisitos de aislamiento acústico mínimo Método de medición y clasificación Cerramientos y aberturas, verticales y horizontales*. Buenos Aires, 2015.
6. CRAIK, Robert JM. The prediction of sound transmission through buildings using statistical energy analysis. *Journal of sound and Vibration*, Elsevier, v. 82, n. 4, p. 505–516, 1982. doi: [10.1016/0022-460X\(82\)90404-7](https://doi.org/10.1016/0022-460X(82)90404-7).
7. TAN, Yi; FANG, Yi; ZHOU, Teng; WANG, Qian; CHENG, Jack Chin Pang. Improve indoor acoustics performance by using building information modeling. In: *IAARC PUBLICATIONS. ISARC. Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*. [S.l.], 2017. v. 34.
8. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 12006: Parte 2: Estrutura para classificação*. Rio de Janeiro, 2018.
9. EASTMAN, C. M. *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors*. 2. ed. John Wiley & Sons: Hoboken, 2011.
10. CORRÊA, Fabiano Rogerio; SANTOS, Eduardo Toledo. Na direção de uma modelagem da informação da cidade (CIM). *VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção (TIC 2015), Recife*, 2015.
11. BRASIL. *DECRETO Nº 9.983, DE 22 DE AGOSTO DE 2019*. [S.l.], 2019. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm#art15.
12. BONATTO, H. *A adoção da modelagem da informação da construção (Building Information Modeling – BIM) no projeto de Lei Nº 1292, de 1995*. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://www.novaleilicitacao.com.br/2020/02/06/adoacao-da-modelagem-da-informacao-da-construcao-building-information-modeling-bim-no-projeto-de-lei-no-1292-de-1995/>.
13. SUERMANN, Patrick C; ISSA, Raja RA. Evaluating industry perceptions of building information modelling (BIM) impact on construction. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 14, n. 37, p. 574–594, 2009.
14. ERFANI, Kaveh; MAHABADIPOUR, Sarah; NIK-BAKHT, Mazdak; LI, Joonhee. Bim-based simulation for analysis of reverberation time. *IBPSA Building Simulation*, 2019.
15. KIM, Sunyoung; COFFEEN, Robert C; SANGUINETTI, Paola. Interoperability building information modeling and acoustical analysis software-a demonstration of a performing arts hall design process. In: *ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA. Proceedings of Meetings on Acoustics ICA2013*. [S.l.], 2013. v. 19, n. 1, p. 015136.
16. FORNECK, Naiara Braghirolli. Interoperabilidade entre softwares para análise acústica

no desenvolvimento de projetos em BIM. Universidade do Vale do Rio dos Sinos, 2016.

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

18. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 12354 Building acoustics — Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements. Part 1: Airborne sound insulation between rooms*. [S.l.], 2017.

19. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 16283: Acoustics - Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. [S.l.], 2018.

20. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. *ISO 717 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation*. [S.l.], 2013.

21. CROCKER, MJ; PRICE, AJ. Sound transmission using statistical energy analysis. *Journal of Sound and Vibration*, Elsevier, v. 9, n. 3, p. 469–486, 1969. doi: [10.1007/978-94-015-9173-730](https://doi.org/10.1007/978-94-015-9173-730).

22. IFCOPENSHELL. The open source IFC toolkit and geometry engine. [S.l.], 2020. Disponível em: <http://ifcopenshell.org/python>.

23. MARSHALL DAY ACOUSTICS. *Insul*. [S.l.], 2022. Disponível em: <https://www.insul.co.nz/>.

24. COTONI, Vincent; SHORTER, Phil; LANGLEY, Robin. Numerical and experimental validation of a hybrid finite element-statistical energy analysis method. *The Journal of the Acoustical Society of America*, Acoustical Society of America, v. 122, n. 1, p. 259–270, 2007. doi: [10.1121/1.2739420](https://doi.org/10.1121/1.2739420).

25. SIMMONS, C. *Managing uncertainty in building acoustics - Comparisons of predictions using the EN 12354 standards to measurements*. Tese (Doutorado) — Luleå tekniska universi-

tet, 2009. Disponível em: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:991549/FULLTEXT01.pdf>.

26. ROMERO, T. B.; FENGLER, B.; NETTO, P. E. S.; ROCHA, R. R.; GINER, J. C. A importância entre a tipologia do caixilho versus a tipologia do vidro no desempenho acústico de sistemas de vedações verticais externas (fachadas). *Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica*, Porto Alegre, 2018.