

## **DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO DE VEDAÇÕES VERTICAIS INTERNAS DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

**Vanessa F.M.Takahashi (1); Stelamaris Rolla Bertoli (2)**

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, [takahashi.van@gmail.com](mailto:takahashi.van@gmail.com)

(2) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, [rolla@fec.unicamp.br](mailto:rolla@fec.unicamp.br)

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo, Cx Postal 6021, Campinas-SP, Tel.: (19) 3521-2314

### **RESUMO**

O artigo tem como propósito apresentar a implementação de uma ferramenta de análise de desempenho acústico de vedações verticais internas para edificações habitacionais. Esta ferramenta busca ajudar os projetistas a conceber obras e definir o produto a ser empregado segundo os critérios de desempenho acústico da parte 4 da norma NBR 15575 (2013) – Edificações habitacionais- Desempenho. O estudo da criação dessa ferramenta foi baseado no Código Técnico de Edificações (CTE) espanhol aprovado em 2006. O CTE procura responder às demandas da sociedade em termos de melhoria da qualidade do edifício, protegendo os usuários. O CTE assim como a norma NBR15575 (2013) é responsável por indicar os critérios de desempenho que devem ser atendidos por edifícios, mas deixa em aberto a forma como esses valores devem ser cumpridos, incentivando o desenvolvimento tecnológico. Em fase de testes, a ferramenta de desempenho acústico criada vem auxiliando profissionais na quantificação e definição do desempenho acústico das vedações verticais internas das edificações habitacionais necessários para atender a norma, utilizando diversos materiais e sistemas construtivos.

Palavras-chave: Desempenho de edificações, ABNT NBR15575/2013, Isolamento acústico.

### **ABSTRACT**

The paper presents the implementation of analysis tool of sound insulation between rooms in residential buildings. This tool will help designers to design housing buildings and set the product to be built according to the acoustic performance criteria of Part 4 of NBR 15575 (2013) – Housing Buildings - Performance. The study of implementation of this tool is based on the Technical Building Code (CTE) Spanish approved in 2006. The CTE seeks to respond to the demands of society in terms of improved building quality and protecting users. The CTE as well as NBR15575-2013 standard is responsible to indicate the performance criteria that must be met for buildings, but it leaves free how these values must be reached, thus encouraging technological development. The created tool has helped professionals in quantifying and defining the acoustic performance of internal vertical sealing of housing buildings, using several materials and construction systems.

Keywords: Building performance, ABNT NBR15575/2013, Acoustic insulation.

## 1. INTRODUÇÃO

O desempenho de uma edificação abrange vários aspectos fundamentais, como conforto, durabilidade, salubridade e segurança, buscando atender as exigências dos usuários. Para assegurar que esses aspectos de desempenho sejam atendidos foi criada a norma brasileira de desempenho a NBR15575/2013- “Edifícios Habitacionais - Desempenho”. Objetivamente, esta Norma visa aumentar a qualidade e a oferta de moradias, ao estabelecer regras para avaliação do desempenho de imóveis habitacionais. A norma auxilia nas análises que definem o financiamento de imóveis e possibilita adequações nos procedimentos de execução, uso e manutenção dos imóveis (NBR15575/2013).

Com a aprovação e a entrada em vigor da norma de desempenho de edificações habitacionais, ABNT NBR 15575 (2013), o setor da construção civil, assim como os segmentos da cadeia produtiva, projetistas, fabricantes, laboratórios, construtores e governo terão que se adequar para atendê-la. Essa norma é importante porque define critérios mínimos de desempenho da edificação ao longo de uma vida útil e permite utilizar sistemas construtivos inovadores, mas que apresentem uma garantia de desempenho mínimo.

Os clientes de construtoras e usuários de edificações habitacionais devem ser capazes de verificar se o produto que receberam e o ciclo de vida da instalação desses produtos são compatíveis com o que foi pedido e pago. Para que isso ocorra necessita-se de duas condições principais: a primeira é fazer com que as exigências funcionais do usuário sejam mais explícitas e, portanto sejam levados aos objetivos do projeto; e a segunda condição é verificar se as soluções projetuais estão em conformidade com os requisitos propostos. Esse processo é difícil por causa das diferentes linguagens entre usuários e a cadeia produtiva com questões técnicas, o que acaba prejudicando o desempenho da edificação.

Borges (2012) coloca que a norma é importante para os consumidores, pois é um instrumento para estes aferirem e exigirem uma qualidade maior dos imóveis. Por outro lado, a responsabilidade do consumidor também aumenta. Para que o desempenho seja atingido ao longo do tempo, a implementação de programas de manutenção corretiva e preventiva serão essenciais. Para os projetistas a norma traz parâmetros de desempenho que seus projetos deverão atingir trazendo qualidade para os mesmos. O conhecimento técnico dos projetistas será importante para a utilização de recursos para a fase de concepção, como a utilização de softwares para simulação do desempenho acústico, térmico dentre outros. Além disso, os projetistas deverão conhecer o desempenho dos sistemas que vão especificar, e para isso muitas informações dos fabricantes de materiais e fornecedores serão necessárias.

Dentre os aspectos de desempenho previstos na norma NBR 15575 (2013) pode-se destacar o item desempenho acústico, que é um tema contemporâneo devido ao aumento da poluição sonora e do consequente incômodo gerado pelo ruído principalmente nos edifícios habitacionais. Neto (2009) coloca que o incômodo causado pelo ruído já ocorre há alguns anos, mas a preocupação com o bom isolamento acústico em edifícios residenciais é relativamente recente, especialmente no Brasil. Ainda segundo Neto (2009), foi no final do século XX que engenheiros verificaram que o baixo isolamento sonoro das paredes entre unidades habitacionais poderia iniciar conflitos entre vizinhos e reduzir o bem estar dos moradores dos edifícios residenciais. Muitas vezes buscando o barateamento de custo e redução de tempo de execução da obra, os edifícios habitacionais tem sua qualidade final prejudicada do ponto de vista do desempenho acústico.

O ruído gerado pelo tráfego de veículos, sons provenientes de atividades em áreas de lazer, música alta originada em apartamentos vizinhos, barulho de eletrodomésticos são causas de desentendimentos entre vizinhos e de estresse de moradores. Uma das formas de se fazer o controle de propagação de ruído nas edificações é por meio de um isolamento acústico adequado. O aspecto relevante para alcançar o conforto acústico dos edifícios é referente ao isolamento de sons aéreos e de impacto, assegurados tanto pelos elementos constituintes das fachadas como da compartimentação interior da edificação. Assim, é necessário que na fase de projeto seja avaliado o isolamento sonoro, em conformidade com o disposto nas exigências funcionais estabelecidas por meio das regulamentações vigentes, de modo que o ambiente no interior dos edifícios satisfaça padrões de conforto adequados (PATRICIO, 2010).

A norma NBR15575 (2013) estabelece critérios de isolamento ao som aéreo de vedações verticais e horizontais internas e externas, e disposições para o isolamento ao ruído transmitido por impactos para pisos internos e coberturas acessíveis (CBIC, 2013). Para que os requisitos acústicos estabelecidos pela norma NBR 15575(2013) sejam cumpridos com o edifício acabado é necessário definir o isolamento na fase de projeto e a posterior comprovação desse desempenho quando a edificação já estiver concluída.

A concepção de uma ferramenta de análise de desempenho para que arquitetos e projetistas consigam implementar a norma NBR15575/2013 nos projetos na questão do desempenho acústico foi inspirada na experiência da Espanha, um país que possui normas de desempenho da edificação, vigentes desde 2007. Esse conjunto de normas espanholas é conhecido como Código Técnico de Edificação (CTE) e abrange questões

de segurança, funcionalidade e habitabilidade, dentre as quais está o desempenho acústico. Como esse país já passou pelo processo de implementação da norma buscou-se verificar se existiam ferramentas de auxílio ao projetista para dimensionamento e escolhas de materiais na concepção do projeto para obter o mínimo exigido pelo Código e como elas funcionavam. Dentro dos requisitos de habitabilidade da CTE, está enquadrado o requisito básico de "Proteção contra o ruído", o qual consiste em limitar, no interior de edifícios e em condições normais de utilização, o risco de desconforto que o ruído pode produzir nos usuários devido às características de concepção, construção, uso e manutenção da edificação.

Estima-se que um terço de lares espanhóis sofra com o problema da poluição sonora e com algum desconforto como as perturbações do sono, diminuição de desempenho em tarefas e mudanças de comportamento que podem até levar a riscos de saúde e problemas de estresse. Com o objetivo de estabelecer regras e procedimentos que permitissem o cumprimento das exigências básicas de proteção ao ruído do CTE foi criado o Documento Básico, DB-HR (2007) de proteção contra o ruído. Para o desenho e dimensionamento do projeto segundo as questões de isolamento, na opção simplificada do documento DB HR, deve-se escolher e definir a composição dos elementos dos sistemas construtivos e os parâmetros acústicos que caracterizam cada elemento, como índice global de redução acústica e densidade superficial. Esses parâmetros acústicos estão disponíveis em tabelas no DB-HR e expressam os valores mínimos de isolamento acústico que cada um dos elementos deve cumprir. Na opção geral do DB HR a partir dos dados como o desempenho acústico dos elementos construtivos, deve-se determinar o isolamento acústico do ruído aéreo e do nível global de pressão sonora do ruído de impactos, para um ambiente, levando em conta as transmissões acústicas diretas dos elementos construtivos e também as transmissões acústicas indiretas por todos os caminhos possíveis, assim como as características geométricas do ambiente, os elementos construtivos empregados e as formas de encontros desses elementos construtivos entre si. Essa última opção contém os procedimentos de cálculo baseado em modelo para transmissão acústica estrutural das partes 1,2 e 3 das normas UNE EN 12354 (2001).

Para auxiliar os projetistas na tomada de decisões no processo de projeto para o atendimento dos critérios do CTE foram desenvolvidas algumas ferramentas computacionais. Dentre as ferramentas gratuitas estudadas, existe uma disponibilizada gratuitamente pelo site do Código Técnico de Edificações Espanhol e serve para todos os sistemas e elementos construtivos e outra disponibilizada gratuitamente também pelo site da Associação Espanhola de Fabricantes de Elementos Construtivos Cerâmicos e fica restrita aos materiais cerâmicos.

A ferramenta disponibilizada no próprio site do CTE foi desenvolvida pelo Instituto de Ciência da Construção Eduardo Torroja (CSIC). Ela é usada para executar uma checagem do isolamento acústico dos ambientes em relação ao ruído aéreo e de impacto, para a absorção sonora e o tempo de reverberação. A ferramenta consiste de um conjunto de planilhas que visa familiarizar os usuários com o método por meio da sua aplicação e também inclui uma série de tutoriais que mostram como usá-lo. Na ferramenta estão incorporados os dados de isolamento acústico de elementos construtivos, mas existe também a opção do usuário adicionar outros elementos construtivos e seus respectivos valores de isolamento acústico.

A ferramenta disponibilizada pela Associação Espanhola de fabricantes de Elementos Construtivos Cerâmicos é denominada *Silensis* e foi desenvolvida pelo *Hispalyt*. Tem como objetivo facilitar o trabalho dos arquitetos na fase de concepção do projeto da edificação ajudando que este atenda aos requisitos de isolamento acústico necessário. A ferramenta proporciona soluções de isolamento acústico formadas por combinações de elementos construtivos cerâmicos que cumprem as exigências de isolamento acústico do ruído exterior e interior (ruído aéreo e de impacto) estabelecido pelo DB-HR. O estudo do isolamento acústico pela ferramenta *Silensis* é feito segundo uma sequência de perguntas simples que seleciona o tipo e desempenho dos elementos de construção. Essa sequência permite a utilização dos produtos em combinação com os elementos anteriormente selecionados. Após realizar toda a sequência de passos, a ferramenta emite dois relatórios: uma ficha justificativa do DB-HR (2007) do CTE, e o relatório *Silensis*, um documento que contém um resumo de seleção dos elementos construtivos, a fim de complementar as informações da ficha justificativa. Ambos os relatórios fornecem o tipo de elementos de construção selecionados, as massas superficiais específicas e o desempenho acústico. A análise dessas duas ferramentas criadas para auxiliar na utilização do Código Técnico de Edificações Espanhol serviu de inspiração para a criação da ferramenta apresentada nesse artigo.

Para que o desempenho acústico da edificação seja alcançado são necessários que na fase de concepção do projeto sejam dimensionados e escolhidos corretamente os materiais construtivos dos diferentes sistemas da construção, como o sistema de piso, de vedação vertical interna e externa, de cobertura ou de equipamentos prediais. Esse artigo apresenta uma ferramenta computacional criada para facilitar decisões de projeto, abrindo várias possibilidades de combinações de materiais que atendam a norma em

relação ao desempenho acústico do sistema de vedação vertical interna. O estudo do desenvolvimento da ferramenta computacional para simulação de desempenho acústico de vedação vertical interna é parte do trabalho de doutorado intitulado “Desenvolvimento de ferramenta computacional para avaliação de desempenho acústico de edificações habitacionais” (TAKAHASHI, 2013) que propõe também ferramentas para simulação de sistemas verticais externos e sistemas de piso.

O setor da construção civil está se preparando para atender a norma NBR15575 (2013). Os fabricantes de materiais que ainda não possuem disponíveis dados relacionados a ensaios de laboratório que contemplem o desempenho acústico do material terão que fazê-lo o mais rápido possível. Os projetistas que não são especialistas em acústica e que não tem conhecimento dos métodos de avaliação, critérios, requisitos e dos cálculos a serem realizados contidos na NBR15575 (2013) precisarão se atualizar. Nesse cenário a criação de uma ferramenta computacional que ajude os profissionais da área da construção a incorporar a norma nos seus projetos, especificamente no tema desempenho acústico é bastante oportuna.

### 1.1 Desempenho acústico na norma NBR15575/2013

A norma de desempenho NBR 15575 (2013) apresenta para cada necessidade do usuário a sequência de requisitos desempenho, critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação. A norma está dividida em seis partes sendo elas: Parte 1: Requisitos gerais; Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; Parte 3: Requisitos para os sistemas de piso; Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE; Parte 5: Requisitos para os sistemas de cobertura; Parte 6: Requisitos para os sistemas hidrossanitários.

Para os diferentes tipos de sistemas, a norma NBR15575 (2013) estabelece requisitos mínimos de desempenho em função das necessidades básicas de saúde, segurança, higiene e economia. O nível mínimo (M) de desempenho é obrigatório devendo ser considerado e atendido na edificação. De forma informativa, a norma indica valores de desempenho intermediário (I) e superior (S) que ficam a critério do empreendedor e conferem uma classificação mais elevada para o empreendimento. Anauate e Bueno (2013) acreditam que a tendência é que o nível de desempenho evolua para qualidade intermediária e superior devido à autorregulação do mercado que passará a adotar a evolução da melhoria da qualidade como um diferencial.

O desempenho acústico dos diferentes tipos de sistema da edificação habitacional é apresentado no item 12 das seis partes da NBR15575 (2013). Segundo a norma a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico interno adequado de ruído aéreo e de impacto entre áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes. Para isso a edificação deve atender ao limite mínimo de desempenho conforme estabelecido nas normas NBR 15575-4 (2013).

Para a avaliação do sistema vertical de vedação interna (SVVI) e dos elementos construtivos são apresentados três métodos na norma de desempenho: Método de precisão realizado em laboratório (ISO 10140-2/2010); Método de engenharia, realizado em campo (ISO 140-4/1998); Método simplificado de campo (ISO 10052/2010). Para sistemas verticais de vedação interna deve-se utilizar um dos métodos de avaliação em campo para a determinação dos valores da diferença padronizada de nível,  $D_{nT,w}$ . A Tabela 1 apresenta os valores da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$  para os níveis de desempenho Mínimo (M), Intermediário (I) e Superior (S).

**Tabela 1- Valores de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada,  $D_{nT,w}$ , entre ambientes.**

Elemento	$D_{nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$>50$	S
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitórios.	45 a 49	M
	50 a 55	I
	$\geq 55$	S
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e	30 a 34	M

áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos.	35 a 39	I
	$\geq 40$	S
Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos,	45 a 49	M
	50 a 54	I
	$\geq 55$	S
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (DnTw obtida entre unidades)	40 a 44	M
	45 a 49	I
	$\geq 50$	S

Fonte: NBR15575-4/2013

Para avaliação do ruído aéreo em campo devem-se medir os parâmetros acústicos descritos na norma ISO140-4 (1998), a saber: o nível de pressão sonora do ruído da fonte na sala emissora,  $L_1$ , o nível de pressão sonora na sala receptora,  $L_2$ , o tempo de reverberação,  $T_2$ , e o nível de ruído de fundo,  $B_2$ , da sala receptora.

Com os parâmetros acústicos  $L_1$  e  $L_2$  calcula-se pela Equação 1, a Diferença de Nível (D). Essa diferença de nível (D) é a diferença, em dB, existente entre o nível médio de pressão sonora que existe no recinto emissor ( $L_1$ ) e o recinto receptor ( $L_2$ ) em função da frequência.

$$D=L_1-L_2 \text{ [dB]}$$

Equação 1

Devido às variações de dimensões e de características de absorção da sala receptora é necessário padronizar o resultado. Assim, a Diferença de Nível é corrigida com o tempo de reverberação do ambiente na sala receptora. Essa correção define a Diferença Padronizada de Nível e expressa a diferença entre os níveis de pressão sonora, normalizada com o valor de referência de 0,5 segundos para o tempo de reverberação da sala receptora. A Diferença Padronizada de Nível é calculada segundo a Equação 2.

$$D_{nT}= D+10\log T/T_0 \text{ [dB]},$$

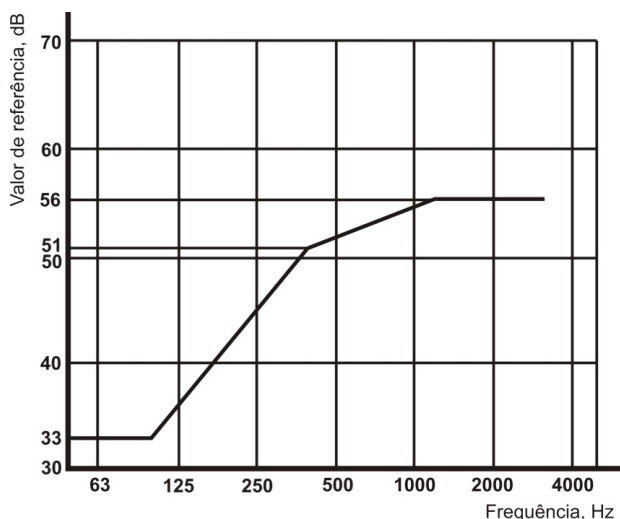
Equação 2

Onde:

T- tempo de reverberação do ambiente receptor [s]

$T_0$ - tempo de reverberação de referência, do valor de 0,5 segundos [s].

Para avaliar e comparar os resultados obtidos tanto entre outras soluções construtivas, como com as exigências dadas pela norma NBR 15575/2013, é necessário caracterizar o isolamento acústico mediante a um único valor, denominado Diferença Padronizada de Nível Ponderada,  $D_{nT,w}$ . Esse procedimento consta da norma ISO 717-1(2013), onde os valores de  $D_{nT}$  em função de frequência são confrontados e ponderados com os valores da curva de referência da norma referida, vista na Figura 1.



**Figura 1- Curva de valores de referência para ruído aéreo, 1/3 de oitava.**

Fonte: Adaptado ISO 717-1(2013)

Para a determinação do  $D_{nT,w}$ , os valores em função de frequência dos parâmetros de isolamento  $D_{nT}$ , calculados a partir dos parâmetros acústicos medidos, devem ser plotados no gráfico da Figura 1. A curva de referência deve ser deslocada na vertical até que a soma de todos os pontos da curva dos resultados que esteja abaixo da curva de referência seja menor que 32 dB nas 16 faixas de frequências, entre 100 e 3150 Hz, em bandas de 1/3 oitava ou menor ou igual a 10 dB nas 5 faixas de frequência, entre 125 e 2000 Hz, em bandas de 1/1 oitava. Com esse novo posicionamento da curva de referência, o valor do  $D_{nT,w}$ , corresponde ao valor de  $D_{nT}$  da curva ajustada na frequência de 500 Hz (NETO, 2009).

## 2. OBJETIVO

O objetivo geral desse artigo é apresentar a implementação de uma ferramenta computacional destinada a avaliar o desempenho acústico de vedações verticais internas de edificações habitacionais para auxiliar os profissionais da área a incorporar a norma NBR 15575/2013 nos projetos.

## 3. MÉTODO

Neste item são apresentados os procedimentos utilizados para a criação da ferramenta computacional que auxilia arquitetos e profissionais da área na especificação e análise de projetos de vedações verticais internas de edifícios habitacionais do ponto de vista acústico para atendimento dos critérios de isolamento sonoro da norma NBR 15575/2013.

O fluxograma da Figura 2 apresenta a estrutura simplificada da ferramenta destinada à simulação do desempenho de isolamento acústico de vedação vertical interna de projetos de edificações habitacionais. A estrutura apresenta uma sequência de perguntas, que direcionam o usuário aos cálculos que devem ser realizados em cada situação, de modo que o resultado final sejam elementos de construção combinados ou não, que atendam os requisitos de desempenho em conformidade com os critérios da NBR15575-4 (2013), garantindo o desempenho acústico entre os ambientes da edificação.

Na fase inicial da elaboração da ferramenta foram desenvolvidas planilhas para realização dos cálculos de isolamento no programa Microsoft Office Excel/ 2010. As planilhas tiveram como base as equações e procedimentos apresentados no item 1.1. Para obtenção de resultados preliminares de isolamento para a situação de simulação do projeto deve-se aplicar a sequência e inserir os dados necessários atendendo os passos do fluxograma (Figura 2) e detalhados a seguir.

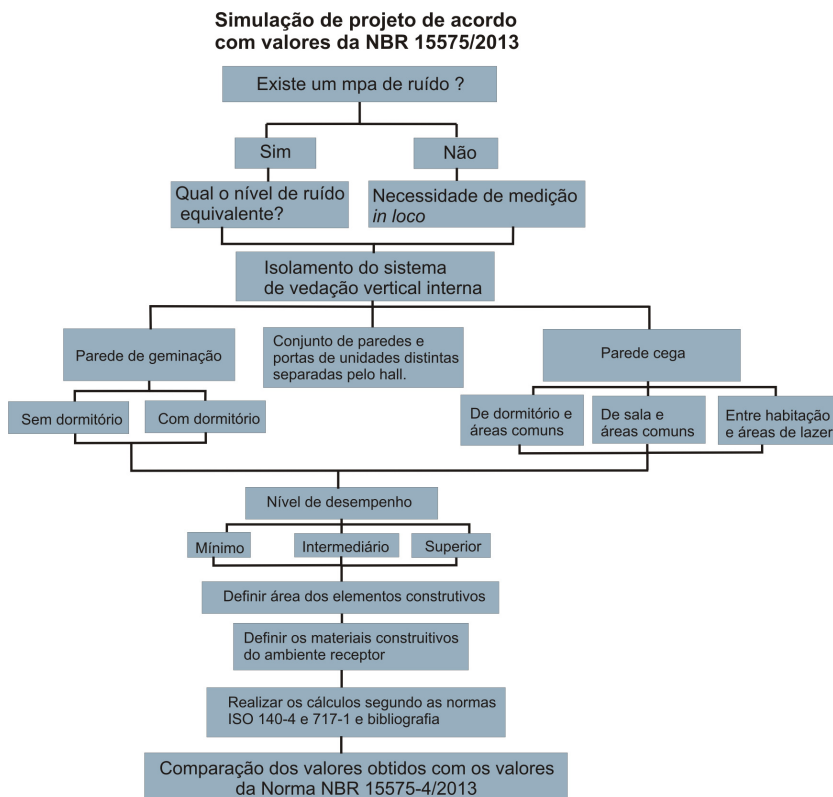


Figura 2- Fluxograma de simulação de desempenho acústico para projeto.

**Primeiro passo:** Saber se o local onde será implantada a edificação possui o mapeamento de ruído. Em caso negativo, é necessário realizar medições para avaliar o nível de ruído equivalente no local de implantação.

**Segundo passo:** Para o isolamento sistema vertical de vedação interna é necessário escolher o tipo de elemento a ser tratado em cada situação no caso de isolamento de vedação vertical entre ambientes. Para o sistema vertical de vedação interna os elementos que podem ser escolhidos para avaliação são:

- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), nas situações onde não haja ambiente dormitório.
- Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação), no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitórios.
- Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria nos pavimentos.
- Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos.
- Parede cega entre uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como home *theater*, salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinha e lavanderias coletivas.
- Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall.

**Terceiro passo:** Escolher o nível de desempenho que o usuário deseja obter: Mínimo (M), Intermediário (I) ou Superior (S). Lembrando que o nível mínimo (M) de desempenho deve ser atendido na edificação segundo a NBR 15575. Os valores de desempenho intermediário (I) e superior (S) ficam a critério do empreendedor e conferem uma classificação mais elevada para o empreendimento. Os valores de desempenho para sistema vertical de vedação externa são apresentados na Tabela 1.

**Quarto passo:** A partir do desenho de projeto definir as áreas dos elementos construtivos. Por exemplo, para isolamento de vedação vertical interna é necessário saber a área que será parede e a área que será de portas, se houver outros elementos construtivos esses também deverão ser definidos.

**Quinto passo:** Coletar dados referentes ao ambiente receptor, para possibilitar o cálculo do tempo de reverberação. Dimensões e coeficientes de absorção dos materiais que compõem esse ambiente deverão ser obtidos.

**Sexto passo:** Reunido os dados, realiza-se os procedimentos de cálculos de isolamento indicados pela norma e constantes no item 1.1. Os procedimentos dos cálculos estão distribuídos em três planilhas do programa Microsoft Excel/ 2010 A primeira planilha foi criada para cálculo de ruído global, a segunda planilha para cálculo do tempo de reverberação e a terceira para o cálculo de isolamento do sistema construtivo e a obtenção do número único. A visualização das planilhas preenchidas é apresentada no item 4 como os primeiros resultados obtidos com a ferramenta desenvolvida.

**Sétimo passo:** Verificar a partir do desenvolvimento dessas planilhas e inserção dos dados coletados se é possível chegar numa lista de materiais e combinações que atendam os critérios exigidos pela norma NBR15575/2013.

## 4. RESULTADOS

Neste item é apresentada a primeira versão da ferramenta destinada ao isolamento de sistema de vedação vertical interna. São apresentadas as três planilhas preenchidas que compõem a ferramenta com um exemplo de aplicação.

A primeira planilha criada refere-se ao para cálculo de ruído global e esta apresentada na Figura 3. Nessa planilha são inseridos dados de ruído do local de implantação do projeto obtidos por meio de mapas de ruído já existentes ou medição em campo e também são inseridas as áreas dos elementos que compõem o sistema. Esses dados são fornecidos a planilha pelo projetista. Além disso, na planilha constam outros campos que representam o desempenho acústico medido em laboratório de cada elemento construtivo, assim como os respectivos coeficientes de transmissão. Esses últimos dados não são inseridos pelo projetista. Foi criado um banco de dados em forma de planilhas com vários elementos construtivos de diferentes espessuras e com seus respectivos desempenhos de isolamento acústico em função da frequência que alimentarão o sistema e que poderão ser expandidos.

A segunda planilha foi criada para o cálculo do tempo de reverberação e está apresentada na Figura 4. Nesta planilha devem ser inseridos os dados referentes ao cálculo do tempo de reverberação, isto é, as

dimensões do ambiente receptor e os materiais que revestem as superfícies e suas respectivas áreas. A fórmula de Sabine, Equação 3, foi utilizada para o cálculo de tempo de reverberação.

$$TR=0,16xV/\Sigma Sx\alpha$$

Equação 3

Onde:

TR é o Tempo de Reverberação [s];

V é o Volume [m<sup>3</sup>];

S é a área [m<sup>2</sup>];

$\alpha$  é o coeficiente de absorção.

Inserção do nível de ruído obtido pela medição in loco ou pelo mapa de ruído em função da frequência.

TESTE																
Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Ruído Lin (Z)(d)	67,4	73,2	75,7	74,7	77,6	80,6	82,1	78,3	78,6	77,4	77,2	78,2	80	82	81,3	79,5
R E. Const. 1	39	34	36	33	34	35	36	39	42	48	48	51	50	51	54	59
R E. Const. 2	25	29	30	32	31	31	33	35	35	39	39	43	45	47	49	51
R E. Const. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R E. Const. 5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T E. Const. 1	0,000126	0,000398	0,000251	0,000501	0,000398	0,000316	0,000251	0,000126	0,000063	0,000016	0,000016	0,000008	0,000010	0,000008	0,000004	0,000001
T E. Const. 2	0,003162	0,001259	0,001000	0,000631	0,000794	0,000794	0,000501	0,000316	0,000316	0,000126	0,000126	0,000050	0,000032	0,000020	0,000013	0,000008
T E. Const. 3	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
T E. Const. 4	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
T E. Const. 5	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000	1,000000
Area E. Const. 1 m	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46	5,46
Area E. Const. 2 m	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48	3,48
Area E. Const. 3 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Area E. Const. 4 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Area E. Const. 5 m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Area Total m2 (Si)	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94	8,94
TixSi	0,011692	0,0065547	0,0048515	0,004932	0,0049379	0,00449	0,003116	0,00179	0,00144	0,00052	0,00052	0,00022	0,000165	0,000113	6,55E-05	3,5E-05
Tcomposto	0,001308	0,0007332	0,0005427	0,000552	0,0005523	0,0005	0,000349	0,0002	0,00016	5,9E-05	5,9E-05	2,4E-05	1,84E-05	1,26E-05	7,33E-06	3,9E-06
Rcomposto	28,8	31,3	32,7	32,6	32,6	33,0	34,6	37,0	37,9	42,3	42,3	46,1	47,3	49,0	51,3	54,1
Ruído Final Lp (Z)(dB)	38,6	41,9	43,0	42,1	45,0	47,6	47,5	41,3	40,7	35,1	34,9	32,1	32,7	33,0	30,0	25,4
Ruído Global Lp	<b>48,7</b>															

Inserção das áreas dos elementos construtivos que compõem o sistema.

Valor do ruído global obtido.

Figura 3- Exemplo da planilha de cálculo de ruído global.

	Material	Área (m <sup>2</sup> )-S	Tempo de reverberação														
			Coeficiente de absorção ( $\alpha$ )														
			100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500
Parede 1		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 2		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 3		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parede 4		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Piso		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Teto		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Constante de Sabine (Sab) Rr		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Tempo de reverberação (s)		#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####	#####

Figura 4- Exemplo da planilha de cálculo de tempo de reverberação.



A terceira planilha apresentada na Figura 5 foi desenvolvida para o cálculo de isolamento do sistema construtivo e a obtenção do número único. O projetista não precisa inserir os dados para o cálculo de  $D_{nT}$ , estes dados já vêm das planilhas anteriores. Já os cálculos para caracterizar o isolamento acústico mediante a um único valor: a Diferença Padronizada de Nível Ponderada,  $D_{nT,w}$  foi utilizado os procedimentos descritos no item 1.1. Nesta planilha o projetista deve saber o valor desejado de  $D_{nT,w}$ , que são os valores definidos na NBR15575/2013 para cada tipo de sistema. É a partir desse valor mínimo, intermediário ou superior escolhido que o sistema de planilhas vai começar a rodar buscando no banco de dados de materiais aqueles que atendem a norma.

Cálculo de Dntw (dB)					
Freq.(Hz)	Dnt (dB)	Valor de referência	Valor de ref.- Redução	Desvio desfavorável	Se o valor de referência- redução for maior que o valor medido então o valor será igual ao desvio , senão será igual a 0.
			20		
100	18,3	33	13	-5,3	0
125	21,6	36	16	-5,6	0
160	22,6	39	19	-3,6	0
200	22,6	42	22	-0,6	0
250	23,1	45	25	1,9	1,92919592
315	25,1	48	28	2,9	2,92919592
400	26,7	51	31	4,3	4,288182199
500	29,5	52	<b>32</b>	2,5	2,458096446
630	31,5	53	33	1,5	1,458096446
800	33,5	54	34	0,5	0,458096446
1 k	34,6	55	35	0,4	0,357418425
1,25 k	33,6	56	36	2,4	2,357418425
1,6 k	33,6	56	36	2,4	2,357418425
2 k	31,3	56	36	4,7	4,652710172
2,5 k	32,2	56	36	3,8	3,838975728
3,15 k	37,1	56	36	-1,1	0
Somatória					27
					Valor acima tem que ser menor que 32

Figura 5- Exemplo da planilha de cálculo de Diferença Padronizada de Nível e número único.

Os resultados obtidos quando as planilhas são rodadas conjuntamente são apresentados numa planilha nomeada de resultados. Essa planilha mostra as combinações e a descrição de elementos construtivos que formam o sistema e o valor obtido da Diferença Padronizada de Nível Ponderada  $D_{nT,w}$  no caso do sistema vedação vertical interna. Os valores de  $D_{nT,w}$  só aparecem na tabela quando esse valor é igual ou superior ao nível desempenho escolhido pelo projetista. Um exemplo dessa planilha é apresentado na Figura 6.

Teste	R E. Const. 1	R E. Const.	R E. Const.	R E. Const.	Redução	Somatória	DnT,w
1	Bloco Cerâmico 11,5 cm	Nada	Nada	Nada	9	29	43
2	Bloco Cerâmico 14 cm	Nada	Nada	Nada	9	29	43
3	Bloco Concreto 11,5 cm	Nada	Nada	Nada	9	29	43
4	Bloco Concreto 14 cm	Nada	Nada	Nada	9	29	43

Figura 6- Exemplo da planilha de resultados.

## 5. CONCLUSÕES

Os primeiros testes realizados para simulação e verificação do desempenho acústico de vedações verticais internas demonstraram a viabilidade da implementação da ferramenta computacional o que vem colaborar com os profissionais da área para o cálculo do desempenho acústico mínimo permitido pela norma NBR15575/2013 na fase de projeto.

Uma das principais dificuldades das primeiras tentativas na fase da simulação do projeto foi conseguir a partir de um valor único de desempenho dado pela norma obter a relação de materiais que atendesse esse valor. Isso ocorre porque todos os cálculos que devem ser feitos para chegar ao valor único levam em consideração os valores de isolamento em função da frequência. A princípio o problema foi resolvido rodando todas as combinações possíveis de materiais construtivos existentes no banco de dados considerando suas devidas áreas. Além disso, esses primeiros estudos demonstraram algumas dificuldades e ajustes que devem ser aprimorados. A falta de dados de desempenho acústico de materiais construtivos para alimentar o programa e aumentar as possibilidades com os quais os profissionais possam trabalhar foi outro problema encontrado. Nesse artigo verificou-se que a ferramenta para simulação é viável, mas que é dificultada pela falta de disponibilidade de dados de desempenho acústico dos materiais construtivos. Acredita-se que com a norma já em vigor desde julho de 2013, principalmente os fabricantes busquem realizar os devidos ensaios em laboratório e disponibilizar os resultados obtidos. Esse acesso aos resultados com certeza traria enriquecimento ao trabalho, uma vez que aumentaria as possibilidades de soluções que os projetistas poderiam utilizar para atender o mínimo da norma ou mesmo valores considerados superiores no projeto.

Alguns pontos a serem aprimorados na ferramenta é a contribuição do tipo de junção dos elementos construtivos no isolamento sonoro aéreo e a extensão dela para outros sistemas, como vedação externa e piso. Além disso, a criação de uma interface do programa, que já está sendo desenvolvida, que ajude o usuário a entender o que a norma pede e como conseguir obter essas expectativas por meio das simulações.

É importante lembrar que a ferramenta deve auxiliar o projetista na escolha dos materiais para obtenção do desempenho acústico adequado do sistema ou a desenvolver novas tecnologias e sistemas construtivos que atendam a norma, mas que esses materiais devem estar de acordo com as outras exigências de projeto e dos outros itens da norma. Além disso, ressalta-se que o programa simula situações e que para se atingir o objetivo é necessária uma boa execução do projeto. Uma edificação construída de acordo com os materiais indicados pelo programa, mas com uma execução realizada de forma inadequada pode não atingir o desempenho acústico desejado.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANAUATE, Milton; BUENO Clóvis Marcelo Dias. **Desempenho de edificações habitacionais. Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013**, Câmara brasileira de indústria da construção (CIBIC) Brasília, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações habitacionais- Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4: Edificações habitacionais- Desempenho, parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE**. Rio de Janeiro, 2013.
- BORGES, Carlos Alberto. **O significado de desempenho nas edificações: Norma Brasileira de Desempenho de Edifícios passa a valer em 12 de maio; saiba por que ela é importante para o setor**. Artigo disponível em [www.revista.construcaoemercado.com.br/negocios-incorporacaoconstrucao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nasedificacoes-161144-1.asp](http://www.revista.construcaoemercado.com.br/negocios-incorporacaoconstrucao/103/norma-de-desempenho-o-significado-de-desempenho-nasedificacoes-161144-1.asp). Acesso: 10 maio 2013.
- CÂMARA BRASILEIRA DE INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO (CBIC). **Desempenho de edificações habitacionais. Guia orientativo para atendimento a norma ABNT NBR 15575/2013**, Brasília, 2013.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 10140-2: Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements -- Part 2: Measurement of airborne sound insulation**. Geneve, 2010.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 140-4: Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements-Part 4: Field measurements of airborne sound insulation of between rooms**, Geneve, 1998.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 717-1: Acoustics- Rating of sound insulation in building and building elements. Part 1: Airborne sound insulation**, Geneve, 2013.
- MINISTERIO DE VIVIENDA. **Documento básico de proteccional frente al ruido, DB HR**, Código Técnico de la Edificación. Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, B.O.E.del 23 de Octubre de 2007. <http://www.boe.es/boe/dias/2007/10/23/pdfs/A42992-43045.pdf>. Acesso em 14 Maio, 2013.
- NETO, Maria de Fátima Ferreira. **Nível de Conforto Acústico: Uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.
- PATRICIO, Jorge Viçoso. **Acústica nos edifícios**. Editora: Verlag Dashöfer Portugal, Portugal, 2010.
- TAKAHASHI, Vanessa Fátima de Medeiros. **Desenvolvimento de ferramenta computacional para avaliação de desempenho acústico de edificações habitacionais**, 2013. Qualificação de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.
- UNE EN 12354 **Acústica de la edificación. Estimación de las características acústicas de las edificaciones a partir de las características de sus elementos**.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro a este trabalho.