



## XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção  
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

# FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS<sup>1</sup>

**TAKAHASHi, Vanessa (1); MOREIRA, Daniel (2); BERTOLI, Stelamaris (3)**

(1) UNICAMP, e-mail: takahashi.van@gmail.com; (2) UNICAMP, e-mail: damore@fec.unicamp.br; (3) UNICAMP, e-mail: rolla@fec.unicamp.br

### RESUMO

Dentre os aspectos de desempenho previstos na norma ABNT NBR 15575-2013- Edificações habitacionais- Desempenho, pode-se destacar o item desempenho acústico, que é um tema contemporâneo devido ao aumento da poluição sonora e do consequente incomodo gerado pelo ruído principalmente nos edifícios habitacionais. Para que o desempenho acústico da edificação seja obtido é necessário que na fase de concepção do projeto sejam dimensionados e escolhidos corretamente os elementos construtivos dos sistemas: de piso, de vedação vertical interna e externa e de cobertura. Neste contexto, programas de simulação acústica são ferramentas importantes para o cálculo de modelos de previsão de desempenho. Objetivando auxiliar o projetista na escolha dos materiais adequados o artigo tem como propósito apresentar a ferramenta computacional, denominada Hipnos Acústica, resultado da tese de doutorado da AUTORA (2016). A ferramenta desenvolvida para plataforma Windows e Mac é voltada para a construção civil brasileira e está de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A ferramenta busca facilitar decisões de projeto e possibilitar combinações de produtos, ou a utilização de sistemas inovadores que atendam a norma por meio de simulações. A ferramenta computacional busca uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

**Palavras-chave:** Desempenho de edificações, ABNT NBR 15575, Isolamento acústico.

### ABSTRACT

*Among the aspects of performance according to the Brazilian standard NBR 15575-2013- Housing Building Performance, you can highlight the item acoustic performance, which is a contemporary theme due to increased noise pollution and consequent discomfort generated mainly in residential buildings. For the acoustic performance of the building is obtained it is necessary that the project design stage are sized and correctly chosen the constructive elements of the systems: floors, internal and external vertical seal and cover. In this context, sound simulation programs are important tools for the calculation of performance prediction models. In order to aid the designer in the choice of suitable materials the article aims to present a computational tool called Hypnos Acoustic result of the thesis AUTHOR (2016). The tool developed for Windows and Mac platform is focused on the Brazilian construction and is in accordance with NBR 15575 (ABNT, 2013). The tool aims to facilitate design decisions and possible product combinations, or the use of innovative systems that meet the standard through simulations. The computational tool seeks a friendly and didactic interface for specialists and non-expert users in the acoustic performance of area buildings.*

---

<sup>1</sup> TAKAHASHi, Vanessa; MOREIRA, Daniel; BERTOLI, Stelamaris. Ferramenta computacional para desempenho acústico de edificações habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

**Keywords:** Performance of buildings, ABNT NBR 15575, acoustic insulation..

## 1 INTRODUÇÃO

A norma NBR15575 (ABNT, 2013) entrou em vigor em 2013 e para que os critérios de desempenho acústico exigidos pela norma sejam cumpridos nas edificações é necessário estudar o isolamento na fase de projeto e a posterior comprovação desse desempenho quando a edificação já estiver concluída.

Neste contexto, programas de simulação acústica são ferramentas importantes para o cálculo de previsão de desempenho, porém os programas disponíveis relativos à acústica são em sua maioria desenvolvidos na Europa e nos EUA e apresentam realidades diferentes da construção civil brasileira. Consultando a literatura buscou-se identificar a existência e funcionamento de ferramentas computacionais de auxílio ao projetista para dimensionamento e escolhas dos elementos construtivos dos sistemas de vedação vertical externa e interna, sistema de piso e de cobertura na concepção do projeto.

Visando auxiliar o projetista a propor ou analisar um projeto do ponto de vista de desempenho acústico, o artigo apresenta uma ferramenta computacional, denominada *Hipnos Acústica*, desenvolvido como parte do doutorado de Takahashi (2016) e voltada para a construção civil brasileira e de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A ferramenta busca facilitar decisões de projeto e possibilitar combinações de produtos, ou a utilização de sistemas inovadores que atendam a norma por meio de simulações. Além disso, essa ferramenta também pode colaborar para a verificação dos resultados de desempenho acústico quando a edificação estiver construída verificando por meio de medições se a edificação está dentro dos padrões mínimos considerados pela norma ABNT NBR15575/2013. A ferramenta computacional foi desenvolvida no software Filemaker para plataforma Windows e Mac, buscando uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

## 2 DESEMPENHO ACÚSTICO NA NORMA NBR 15575 (ABNT, 2013)

A norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013) apresenta para cada necessidade do usuário a sequência de requisitos de desempenho, critérios de desempenho e respectivos métodos de avaliação. A norma está dividida em seis partes sendo: 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 construtivos, a norma NBR 15575 (ABNT, 2013) estabelece requisitos mínimos de desempenho em função das necessidades básicas de saúde, segurança, higiene e economia. Exige-se

pela norma o nível mínimo (M) de desempenho. 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 na tendência de 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 NBR 15575 (ABNT, 2013). Segundo a norma a edificação habitacional deve apresentar isolamento acústico adequado para as vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, e isolamento acústico interno adequado para 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 partes 3,4 e 5 da norma NBR 15575 (ABNT, 2013). A título de exemplo, a Tabela 1 apresenta os valores de desempenho Mínimo, Intermediário e Máximo da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada,  $D_{2m,nT,w}$ , da vedação externa de dormitório determinada pela referida norma.

Tabela 1- Valores de desempenho da diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância,  $D_{2m,nT,w}$  (dB), da vedação externa de dormitório.

Classe de ruído	Localização da habitação	$D_{2m,nT,w}$ (dB)	Nível de desempenho
I	Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas	$\geq 20$	M
		$\geq 25$	I
		$\geq 30$	S
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	$\geq 25$	M
		$\geq 30$	I
		$\geq 35$	S
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.	$\geq 30$	M
		$\geq 35$	I
		$\geq 40$	S

Fonte: NBR15575-4/2013

O método de avaliação do desempenho acústico utilizado para a sistematização da ferramenta foi o proposto pelas famílias de normas NBR 15575 (ABNT, 2013) para classificação do desempenho, ISO 140 (ISO 1995), para métodos de medições, ISO 717 (ISO 2013) para determinação do número único e BS EN12354 (EN, 2000) para estimativa de isolamento acústico. Esses métodos avaliam o desempenho acústico para os sistemas construtivos edificados pela Diferença de nível padronizada ponderada,  $D_{ntw}$ , e Diferença Padronizada de nível, a 2 metros,  $D_{2m,nT,w}$ , para ruído aéreo

e Nível de pressão sonora de impacto–padrão ponderado,  $L'_{nTw}$ , para ruído de impacto, contidos na norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

A ferramenta *Hipnos* Acústica foi pensada para atender dois procedimentos: simulação e verificação de desempenho. Na parte relacionada à concepção do projeto da edificação, são realizadas simulações para indicar possíveis soluções de materiais dos elementos construtivos e/ou combinação de materiais que poderiam ser usados em cada situação e que atendam a norma de desempenho NBR 15575 (ABNT, 2013). A outra parte tem como objetivo verificar o desempenho de uma edificação construída e compará-lo com o desempenho proposto pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013).

O desenvolvimento da ferramenta partiu da premissa de que a simulação de desempenho acústico seguiria os preceitos das normas ABNT NBR15575, ISO 140, ISO717 e BS EN 12354 e que o programa deveria conter informações suficientes para possibilitar o seu uso por pessoas não especialistas em avaliação de desempenho acústico. Foi também requisito que o programa funcionasse nos sistemas operacionais Windows e Mac. Assim para a criação do programa seguiu-se as seguintes etapas:

**Etapa 1-** Definição dos sistemas construtivos avaliados pela norma ABNT NBR 15575.

A ferramenta tem como foco avaliar o desempenho acústico dos sistemas construtivos citados na norma de desempenho ABNT NBR 15575/2013, a saber: o Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI), Sistema de Piso (SP) e Sistema de Cobertura (SC) para edificações habitacionais.

**Etapa 2-** Levantamento de todos os dados necessários para geração da ferramenta computacional de desempenho acústico.

Essa etapa consistiu em levantar e coletar os dados necessários para sistematizar e realizar os cálculos segundo as famílias das normas ABNT NBR15575, ISO 140, ISO 717 e BS EN 12354, tanto da parte relacionada à simulação na fase de concepção de projeto quanto na parte de verificação do desempenho na obra já executada.

**Etapa 3-** Elaboração dos modelos matemáticos em Microsoft Excel.

As planilhas desenvolvidas para realização dos cálculos de isolamento foram realizadas no programa Microsoft Office Excel/ 2010. As equações foram separadas no que se chamou de modelo matemático principal, secundário e auxiliar (Quadro 1). Em uma planilha reuniram-se as equações base, responsáveis pelos resultados principais e equações secundárias necessárias à solução dessas equações base. Em outras planilhas foram organizadas as equações auxiliares que ajudam o usuário a calcular dados de entrada.

O método de avaliação do desempenho acústico utilizado para a sistematização foi o proposto pelas famílias de normas ABNT NBR 15575 para classificação do desempenho, ISO 140 para métodos de medições, ISO 717 para determinação do número único e BS EN 12354 para estimativa de isolamento acústico. Esses métodos avaliam o desempenho acústico para os sistemas construtivos edificados pela Diferença de nível padronizada ponderada,  $D_{nT,w}$ , e Diferença Padronizada de nível, a 2 metros,  $D_{2m,nT,w}$ , para ruído aéreo e Nível de pressão sonora de impacto–padrão ponderado,  $L'_{nT,w}$ , para ruído de impacto.

Quadro 1 – Organização dos cálculos em planilhas.

<b>Principal</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cálculo de Diferença padronizada de nível ponderada, a 2 metros (<math>D_{2m,nT,w}</math>).</li> <li>•Cálculo de Diferença padronizada de nível ponderada (<math>D_{nT,w}</math>).</li> <li>•Cálculo de Nível de pressão sonora de impacto –padrão ponderado (<math>L'_{nT,w}</math>).</li> </ul>
<b>Secundário</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cálculo de Diferença padronizada de nível , a 2 metros (<math>D_{2m,nT}</math>).</li> <li>•Cálculo de Diferença padronizada de nível (<math>D_{nT}</math>).</li> <li>•Cálculo de Nível de pressão sonora de impacto –padrão (<math>L'_{nT}</math>).</li> </ul>
<b>Auxiliar</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cálculo do tempo de reverberação.</li> <li>•Cálculo do nível médio de ruído</li> <li>• Cálculo de paredes compostas</li> </ul>

Fonte: Os autores

#### **Etapla 4-** Levantamento de dados acústicos de materiais construtivos.

A ferramenta possui um pequeno banco de dados, composto de elementos construtivos como: paredes simples, lajes, janelas, portas e outros. Esse banco de dados contém parâmetros acústicos de elementos construtivos medidos em laboratório, como o índice de redução acústica R. Os dados dos materiais utilizados no programa foram obtidos a partir da literatura e trabalhos acadêmicos. Os dados compilados de diversas fontes foram utilizados na formação do banco de dados, que nesse trabalho são utilizados na ferramenta computacional para simulação do desempenho acústico das edificações de acordo com suas características construtivas. Esse banco de dados pode ser alimentado pelo usuário com o acréscimo de mais materiais.

#### **Etapla 5-** Definição da linguagem de programação.

O Filemaker é uma plataforma de desenvolvimento de sistemas de banco de dados e foi criada para o desenvolvimento de aplicativos para Windows e Mac. Essa plataforma permite: a criação de um banco de dados, que são definidos como uma coleção de informações relacionadas, chamadas de "tabelas"; e o gerenciamento de informações, processos e atividades por meio de computadores, internet ou dispositivos móveis. Nessa etapa as

planilhas foram traduzidas em uma interface amigável e didática para usuários especialistas e não especialistas na área de desempenho acústico de edificações.

#### **Etapa 6-** Planejamento da interface.

O planejamento da interface foi feito definindo-se quais recursos o programa deveria conter e como seriam acessados. A interface do programa *Hipnos Acústica* representa o conjunto dos elementos: telas, imagens, menus, botões e caixas de diálogo. Baseando-se no desejo de que o programa fosse uma ferramenta de desempenho acústico para simular e também para avaliar os ambientes, foram considerados necessários os seguintes requisitos:

- Ter a capacidade de armazenar num único arquivo, os registros do desempenho dos vários sistemas do ambiente avaliado;
- Disponibilizar os dados registrados na forma de texto para elaboração de relatórios;
- Sistematizar o processo de armazenamento de dados e dos cálculos necessários;
- Possibilitar a inserção de novos materiais no banco de dados;
- Dispor de informações de ajuda ao usuário.

#### **Etapa 7-** Teste e aprimoramento da interface.

Antes de chegar ao resultado final da interface foram realizados inúmeros testes. Esses testes foram realizados ao longo do desenvolvimento da ferramenta para entender as possibilidades e as necessidades do usuário.

#### **Etapa 8-** Elaboração dos arquivos de ajuda ao usuário.

A ajuda ao usuário foi elaborada para fornecer informações sobre o uso do programa e assim possibilitar que pessoas não especialistas nesse assunto, possam utilizar o programa adequadamente.

## **4 RESULTADOS**

A ferramenta foi desenvolvida pensando na construção civil brasileira e para atender a norma de desempenho ABNT NBR 15575. Foi desenvolvida para plataforma Windows e MAC. O item 4.1 apresenta as planilhas criadas em Microsoft Office Excel/ 2010 para os cálculos do desempenho acústico da edificação e serviu de base para o desenvolvimento do programa. O item 4.2 é referente à criação da interface na plataforma FileMaker.

### **4.1 Desenvolvimento de planilhas**

As planilhas foram criadas de forma similar tanto para a condição de simulação quanto para a condição de verificação dos valores na edificação executada, alterando somente os campos que devem ser preenchidos para os respectivos sistemas. Destaca-se também o que diferencia o resultado final das duas situações é que na simulação por meio

de um *script* é percorrido um banco de dados de materiais e verificado um por um se atende o desempenho descrito ou não. No entanto na verificação o material já está definido e a planilha só verifica se ele atende ao desempenho requerido ou não.

Como exemplo, a seguir são apresentadas as planilhas desenvolvidas para simulação do Sistema de Vedação Vertical Externo (SVVE).

A primeira planilha foi criada para cálculo de ruído global e apresentada na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo da planilha de cálculo de ruído global

TESTE																
Frequência (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
Ruído (dB)																
R.E. Const. 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R.E. Const. 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
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	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
T.E. Const. 2	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
T.E. Const. 3	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
T.E. Const. 4	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
T.E. Const. 5	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000	1,00000000
Área E. Const. 1 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 2 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 3 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 4 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área E. Const. 5 (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Área Total m <sup>2</sup> (S)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
TxS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T composto	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
R composto	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ruído Final (dB)	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
Ruído Global (dB)	#DIV/0!															

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

Inserção das áreas dos elementos construtivos que compõem o sistema.

Valor do ruído global obtido

Fonte: Os autores

Nessa planilha são inseridos dados de ruído do local de implantação do projeto obtidos por meio de medição em campo e também são inseridas as áreas dos elementos que compõem o sistema. Esses dados são fornecidos à 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, mas buscados pelo programa em um banco de dados. 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.

A segunda planilha foi criada para o cálculo do tempo de reverberação é apresentada na Figura 2. Nesta planilha deverão ser inseridos os dados referentes ao cálculo do tempo de reverberação, as dimensões e os

materiais do ambiente receptor. A fórmula de Sabine foi utilizada para o cálculo de tempo de reverberação.

Figura 2 – Exemplo da planilha de cálculo de tempo de reverberação.

			Tempo de reverberação																
	Material	Área (m²) -S	Coeficiente de absorção (α)																
			100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	
Parede 1		0	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	0	
Parede 3		0	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	0	
Piso		0	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	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)			####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	####	

Dimensões do ambiente receptor	
V-Volume (m <sup>3</sup> )	0
H-altura (m)	0
L-largura (m)	0
C- Comprimento (m)	0

$$TR=0,161 \times \frac{V}{\sum S\alpha}$$

Fonte: Os autores

A terceira planilha apresentada na Figura 3 foi desenvolvida para o cálculo de isolamento do sistema construtivo e a obtenção do número único. No caso de isolamento de fachada para o cálculo da Diferença Padronizada de Nível a 2 metros da fachada ( $D_{2m,nT}$ ). O projetista não precisa inserir os dados para o cálculo de  $D_{2m,nT}$ , pois eles já vem das planilhas anteriores. Para os cálculos destinados a caracterizar o isolamento acústico mediante a um único valor: a Diferença Padronizada de Nível Ponderada a 2 metros da fachada,  $D_{2m,nT,w}$  foram utilizados os procedimentos descritos na ISO 717-1. Nesta planilha o projetista deve somente definir o valor de desempenho desejado de  $D_{2m,nT,w}$  que é o valor definido na NBR 15575 (ABNT, 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. 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 a 2 metros da fachada ( $D_{2m,nT,w}$ ) no caso do sistema de fachada.



Figura 3 – Exemplo da planilha de cálculo de Diferença Padronizada de Nível e número único.

Cálculo de Dnt a 2m					Cálculo de Dntw a 2m (dB)				
Freq.(Hz)	L1(dB)	L2(dB)	TR(s)	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.	
						> X			
100	0	0,0	0,00	#NÚM!	33	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
125	0	0,0	0,00	#NÚM!	36	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
160	0	0,0	0,00	#NÚM!	39	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
200	0	0,0	0,00	#NÚM!	42	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
250	0	0,0	0,00	#NÚM!	45	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
315	0	0,0	0,00	#NÚM!	48	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
400	0	0,0	0,00	#NÚM!	51	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
500	0	0,0	0,00	#NÚM!	52	####	#VALOR!		#VALOR!
630	0	0,0	0,00	#NÚM!	53	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
800	0	0,0	0,00	#NÚM!	54	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
1 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	55	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
1,25 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	56	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
1,6 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	56	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
2 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	56	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
2,5 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	56	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
3,15 k	0	0,0	0,00	#NÚM!	56	#VALOR!	#VALOR!		#VALOR!
					Somatória		#VALOR!		
							Valor acima tem que ser menor que 32		

Valor de Dntw,2m

Fonte: Os autores

## 4.2 Interface gráfica

A interface gráfica do programa *Hipnos Acústica* foi dividida para atender duas situações: "Simulação do desempenho acústico da edificação" e "Verificação do desempenho acústico da edificação". Para cada uma das situações foram desenvolvidas telas para os quatro tipos de sistemas: Sistema de Vedação Vertical Externa (SVVE), Sistema de Vedação Vertical Interna (SVVI), Sistema de Piso (SP) e Sistema de Cobertura (SC).

As telas do programa para cada sistema foram desenvolvidas e divididas em telas principais, telas auxiliares, telas de informação e telas de tutorial. Cada um dos sistemas possuem seis telas principais: uma tela de apresentação do sistema, quatro telas de inserção de dados e cálculos e uma última tela com o relatório parcial com os resultados obtidos. Essas telas podem ser vistas como etapas que o usuário deve passar para que ele consiga um resultado final.

O layout das telas foi desenvolvido para que todos os sistemas possuíssem seis telas principais e que o usuário conseguisse visualizar a qualquer momento as outras telas e verificar por meio da mudança da cor do botão status, que possui a numeração da tela, de vermelho para azul se aquela etapa estiver concluída. A organização estabelecida pelo programa das seis telas foi desenvolvida para que existisse sempre uma mesma sequência que o usuário pudesse seguir na avaliação de todos os sistemas e que isso

tornasse o programa mais didático e intuitivo, mas o usuário não necessariamente precisa preencher os dados utilizando a sequência apresentada pelo programa. Ele tem a possibilidade de percorrer todas as etapas e ir preenchendo da forma que achar melhor, tendo sempre o indicativo das cores e de caixas de diálogo informando se há informações que ainda faltam ser preenchidas. Além disso, o usuário pode mudar de sistema avaliado porque em todas as telas tem abas na parte superior mostrando o sistema que está sendo estudado no momento. Mudando de aba a avaliação passa a ser de outro sistema.

As telas auxiliares são telas acionadas a partir das telas principais e foram criadas sempre que era necessário inserir informações complementares. As telas de informação servem para tornar o programa mais didático. Essas telas contêm informações que podem ajudar o usuário a entender o porquê da inserção daqueles dados e também informar ao usuário as normas e as considerações em relação a elas que estão sendo utilizadas pelo programa.

As telas de tutorial foram desenvolvidas para ajudar o usuário inserir os dados requeridos pelo programa. Essas telas reproduzem a imagem das telas principais e auxiliares acrescidas de informações de como fazer o preenchimento. O desenvolvimento da interface baseou-se nas informações e resultados reunidos nas planilhas no item 4.1.

Tela de Apresentação- É uma tela de informações sobre o sistema que está sendo estudado, e contém os parâmetros calculados e as normas utilizadas para a simulação ou verificação do desempenho acústico da edificação (Figura 4).

Figura 4 – Tela Apresentação do SVVE.



Fonte: Os autores

Tela 1: Medição de nível de ruído- Nessa tela devem ser inseridos os valores do nível de ruído medidos no local onde o projeto será implantado. Os valores das medições são inseridos em função das frequências em 1/3 de oitava. Nessa tela é possível inserir o valor de várias medições e calcular uma média do nível do ruído local (Figura 5).

Figura 5 – Tela de Medição do Nível de Ruído do SVVE.

**HIPNOS ACUSTICA**  
DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA (SVVE) | SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (SVVI) | SISTEMA DE PISO (SP) | SISTEMA DE COBERTURA (SC)

1 Apresentação e Informações sobre o sistema avaliado | 2 Medição do Nível de Ruído | 3 Classificação de Ruído e Nível de Desempenho | 4 Cálculo do Tempo de Reverberação | 5 Dados do Sistema de Vedação Vertical Externa | 6 Relatório parcial

Insira os valores das medições realizadas *in loco* ou do mapa de ruído em função da Frequência[Hz]:

Ponto de medição	F100	F125	F160	F200	F250	F315	F400	F500	F630	F800	F1000	F1250	F1600	F2000	F2500	F3150
1	63	65	60	60	61	62	60	63	65	63	65	66	65	63	65	60

Total de Pontos 1

Média do nível de ruído (dB)	F100	F125	F160	F200	F250	F315	F400	F500	F630	F800	F1000	F1250	F1600	F2000	F2500	F3150
	63	65	60	60	61	62	60	63	65	63	65	66	65	63	65	60

Fonte: Os autores

Tela 2: Nível de desempenho- Nessa tela devem ser escolhidos a classificação de ruído do local onde o projeto será inserido e o nível de desempenho que o usuário deseja obter na simulação. Esses valores estão de acordo com a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), e serão armazenados para serem usados como valor base das simulações (Figura 6).

Tela 3: Cálculo do Tempo de Reverberação- Nessa tela devem ser inseridos os dados de dimensão e de revestimentos que compõem o ambiente receptor para realização do cálculo do tempo de reverberação em função das frequências de 1/3 de oitava (Figura 7).

Tela 4: Dados do Sistema - Nessa tela devem ser inseridos informações sobre área e tipo dos elementos construtivos, e se for o caso a inserção do formato da fachada e transmissões indireta. O resultado é calculado em função da frequência e convertido em um valor único utilizando a curva de referência da ISO 717-1 ou ISO717-2 que será comparado com o valor estabelecido pelo usuário na tela de Nível de Desempenho (Figura 8).

Figura 6 – Tela de Classificação de Ruído e Nível de Desempenho do SVVE

**HIPNOS ACUSTICA**  
DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA (SVVE) | SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (SVVI) | SISTEMA DE PISO (SP) | SISTEMA DE COBERTURA (SC)

1 Apresentação e informações sobre o sistema avaliado

2 Medição do Nível de Ruído

3 Classificação de Ruído e Nível de Desempenho

4 Cálculo do Tempo de Reverberação

5 Dados do Sistema de Vedação Vertical Externa

6 Relatório parcial

Qual a classificação da habitação em relação ao ruído que a edificação está sujeita?

E qual o nível de desempenho se deseja obter?

**CLASSE I**

Habitação localizada distante de fontes de ruído intenso de quaisquer naturezas.

≥ 25 Mínimo

≥ 30 Intermediário

≥ 35 Superior

**CLASSE II**

Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e II.

≥ 30 Mínimo

≥ 35 Intermediário

≥ 40 Superior

**CLASSE III**

Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte e de outras naturezas, desde que esteja de acordo com a legislação.

≥ 35 Mínimo

≥ 40 Intermediário

≥ 45 Superior

Fonte: Os autores

Figura 7 – Tela de Cálculo do Tempo de Reverberação do SVVE

**HIPNOS ACUSTICA**  
DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA (SVVE) | SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (SVVI) | SISTEMA DE PISO (SP) | SISTEMA DE COBERTURA (SC)

1 Apresentação e informações sobre o sistema avaliado

2 Medição do Nível de Ruído

3 Classificação de Ruído e Nível de Desempenho

4 Cálculo do Tempo de Reverberação

5 Dados do Sistema de Vedação Vertical Externa

6 Relatório parcial

Para avaliação de desempenho acústico da edificação, escolha o ambiente a ser avaliado e faça a descrição do ambiente segundo os itens a seguir, para realização do cálculo do Tempo de Reverberação:

Ambiente avaliado: Quarto

Pé Direito: 3 m

Área do piso: 16 m²

Volume: 48 m³

Material:

Piso: Taco colado

Teto: Gesso

**Paredes**

Material	Área (m²)	Aberturas
Parede de Reboco	12 m²	0
Parede de Reboco	10 m²	1
Parede de Reboco	12 m²	0
Parede de Reboco	9 m²	1

Total de paredes: 4

**Tempo de Reverberação**

Frequência	Tempo (s)	Frequência	Tempo (s)
F100	0,75 s	F630	1,36 s
F125	0,84 s	F800	1,16 s
F160	0,84 s	F1000	1,19 s
F200	0,84 s	F1250	1,19 s
F250	1,25 s	F1600	1,25 s
F315	1,25 s	F2000	1,16 s
F400	1,19 s	F2500	1,11 s
F500	1,36 s	F3150	1,08 s

Calcular

Inserir novos materiais de absorção

Fonte: Os autores

Figura 8– Tela de Dados do SVVE.

**HIPNOS ACUSTICA**  
DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA (SVVE) | SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (SVVI) | SISTEMA DE PISO (SP) | SISTEMA DE COBERTURA (SC)

1 Apresentação e Informações sobre o sistema avaliado  
2 Medição do Nível de Ruído  
3 Classificação de Ruído e Nível de Desempenho  
4 Cálculo do Tempo de Reverberação  
5 Dados do Sistema de Vedação Vertical Externa  
6 Relatório parcial

Caracterize a fachada de acordo com seu formato e a área dos elementos construtivos preenchendo os quadros abaixo:

**Influência do formato da fachada**  
Segundo a norma BS EN 12354-3/2000, a forma da fachada pode influenciar o desempenho acústico do sistema de vedação vertical externa.

Escolher o formato da fachada

**Transmissões sonoras indiretas**  
☐ Considerar as transmissões sonoras indiretas de acordo com a norma europeia BS EN 12354-3/2000?

**Área dos elementos construtivos**  
A partir do desenho de projeto definir as áreas dos elementos construtivos do Sistema de Vedação Vertical Externa referente ao ambiente avaliado.

Elemento construtivo	Tipo	Área
Elemento construtivo 1	Bloco	
Elemento construtivo 2		
Elemento construtivo 3		
Elemento construtivo 4		
Elemento construtivo 5		

Inserir novos materiais

Calcular  $D_{2m,nt,w}$

Fonte: Os autores

Tela 5: Relatório Parcial- Nessa tela aparecem os resultados obtidos pelos cálculos e as opções possíveis para o usuário, no caso da simulação. É listado todos os tipos de elementos construtivos que nessa situação de projeto tem valor igual ou superior ao nível desempenho requerido pelo usuário (Figura 9).

Figura 9– Tela de Resultados Parciais do SVVE.

**HIPNOS ACUSTICA**  
DESEMPENHO ACÚSTICO DE EDIFICAÇÕES

SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL EXTERNA (SVVE) | SISTEMA DE VEDAÇÃO VERTICAL INTERNA (SVVI) | SISTEMA DE PISO (SP) | SISTEMA DE COBERTURA (SC)

1 Apresentação e Informações sobre o sistema avaliado  
2 Medição do Nível de Ruído  
3 Classificação de Ruído e Nível de Desempenho  
4 Cálculo do Tempo de Reverberação  
5 Dados do Sistema de Vedação Vertical Externa  
6 Relatório parcial

Ambiente avaliado: Quarto  
Classificação do Ruído: Classe I - Mínimo  
Nível de Desempenho: 25

Resultado	Sistema Avaliado	Elemento Construtivo 1	Tipo	Espessura (m)	Elemento Construtivo 2	Tipo	Espessura (m)	Elemento Construtivo 3	Tipo	Espessura (m)	Valor de redução	Somatória	$D_{2m,nt,w}$ (dB)	$D_{2m,nt}$ (dB)
SVVE	Bloco	Concreto	0,115										44	
SVVE	Bloco	Concreto	0,140										47	
SVVE	Bloco	Cerâmico	0,115										40	
SVVE	Bloco	Cerâmico	0,140										42	

Exibir resultados

Fonte: Os autores

Os comandos do programa foram desenvolvidos por meio de *scripts*. Quando o usuário der um clique num botão, selecionar uma opção, alterar ou inserir um dado haverá um procedimento de evento relacionado cujo código determinará o que o programa deve fazer. Os *scripts* podem realizar desde tarefas mais simples de levar o usuário de uma tela para outra assim como armazenar e realizar cálculos.

Todas as telas do programa estão relacionadas a tabelas que armazenam todos os dados que o usuário insere, dados calculados pelos *scripts*, ou banco de dados de características de materiais que o programa possui. Para realização dos cálculos, os dados de uma tela podem depender de resultados ou dados contidos em outras telas para isso existe uma relação feita entre tabelas, denominada gráfico de relacionamentos. O gráfico de relacionamentos fornece acesso de dados de uma tabela a outra. Se um relacionamento é definido entre duas tabelas, os campos de uma tabela podem ser acessados da outra.

## 5 CONCLUSÕES

O programa permite simular e verificar o desempenho acústico dos sistemas de vedação vertical externa e interna, sistema de piso e sistema de cobertura, de acordo com critérios e parâmetros exigidos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013). Destaca-se um aspecto importante do programa que é levar em consideração a influência do formato da fachada e as transmissões indiretas no desempenho acústico da edificação, tendo como base a norma europeia BS EN 12354/2000. A interface do programa é didática e intuitiva possibilitando que o usuário a entenda a norma ABNT NBR 15575/2013 nas questões do desempenho acústico ao usar o programa.

Durante a elaboração da ferramenta foi constada a existência de pouquíssima informação sobre dados de desempenho acústico de materiais construtivos para alimentar o programa e aumentar as possibilidades com os quais os profissionais possam trabalhar. 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.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Capes pelo apoio financeiro a essa pesquisa.

## REFERÊNCIAS

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 (CBIC) Brasília, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais- Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BRITISH STANDARD. **BS EN 12354** -Building acoustics- Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, 2000.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 140**: Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Geneve, 1995.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION **ISO 717**: Acoustics- Rating of sound insulation in building and building elements, Geneve, 2013.

TAKAHASHI, Vanessa Fátima de Medeiros. **Desempenho acústico de edificações: ferramenta computacional para avaliação**, 2016. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas – Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo.