

# PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE CÂMARAS DE ENSAIO ACÚSTICO DE ESQUADRIAS

DE GODOY, Marcelo<sup>1</sup>; MORAES, Edison C.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Modal Acústica

marcelo@modalacustica.com.br

<sup>2</sup>Atenua Som

edison@atenuasom.com.br

## Resumo

Este artigo descreve o desenvolvimento, a construção e a calibração das câmaras de ensaio acústico de esquadrias instaladas na fábrica da Atenua Som. As câmaras de ensaio acústico de esquadrias foram capacitadas para realizar ensaios de isolamento sonoro conforme a ISO 140-4:1998, fornecendo resultados comparáveis aos de laboratórios credenciados regidos pela ISO 140-3:1995, ainda que com menor precisão (método de engenharia).

**Palavras-chave:** Isolamento sonoro, ensaio, esquadrias.

## Abstract

This article describes the development, construction, and calibration of acoustic test chambers for door and window frames installed at Atenua Som's factory. The acoustic test chambers for door and window frames were enabled to carry out sound insulation testing according to ISO 140-4:1998, providing results comparable to those of accredited laboratories covered by ISO 140-3:1995, yet with lower accuracy (engineering method).

**Keywords:** Sound insulation, test, doors and windows.

**PACS no. 43.55.Nd, 06.20.-f**

## 1 Introdução

A acústica tem obtido crescente relevância no mercado da construção brasileira nos últimos anos. Fatores como o bom momento econômico do país, a oferta de crédito imobiliário, o desenvolvimento da norma NBR 15.575 (“Edificações habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho”, ainda não publicada), a disseminação de selos de certificação, como o LEED e o AQUA, e a criação da ProAcústica (Associação Brasileira para a Qualidade Acústica) têm trazido ao mercado e aos consumidores a consciência da importância do desempenho acústico nas edificações, sejam elas comerciais ou residenciais.

A NBR 15.575 tem um papel especial neste cenário, mesmo que ainda não tenha sido publicada. Pela primeira vez no país, uma norma técnica definirá classificações de produtos imobiliários baseadas no desempenho acústico (entre outras categorias de desempenho) de seus materiais e elementos construtivos. Ainda que nominalmente se restrinja a edifícios

residenciais de até cinco pavimentos, será uma referência concreta para todos os demais tipos de edificação residencial. Como consequência, fabricantes, construtoras, projetistas e consumidores foram levados a se perguntar: qual o desempenho acústico desse produto?

Isso leva imediatamente à demanda por ensaios laboratoriais e avaliações *in loco* quanto ao desempenho acústico de materiais, elementos e sistemas construtivos disponíveis no mercado. Se por um lado esta demanda incentiva à capacitação de consultores e laboratórios de acústica, por outro traz à tona a escassez de estrutura laboratorial para determinados ensaios. Poucos são os laboratórios credenciados para ensaios acústicos no país, e diversos tipos de ensaios acústicos não podem ser realizados no Brasil por falta de laboratórios capacitados.

As câmaras de ensaio acústico de esquadrias da Atenua Som nasceram da necessidade de respostas rápidas à demanda do mercado. Instaladas no interior da fábrica, as câmaras estão preparadas para fornecer o ensaio de portas e janelas de acordo com a ISO 140-4:1998, gerando resultados comparáveis aos de laboratórios de ensaio regidos pela norma ISO 140-3:1995.

Contudo, seu objetivo vai além da capacidade de oferecer ensaios de isolamento sonoro de qualidade. Por situarem-se no interior de uma fábrica de esquadrias, contam com o apoio de conhecimento, pessoal e ferramentas especializadas para auxiliar no desenvolvimento dos produtos ensaiados, propiciando que uma série de variáveis sejam testadas, visando a sua otimização de acordo com as prioridades do cliente.

Desse modo, fatores como composições de vidros (simples, insulados, laminados etc.), fechos e acessórios, escovas e borrachas de vedação, roldanas e rolamentos, preenchimento de perfis (areia, lã de rocha em flocos, massa de vidraceiro, retalhos de borracha etc.), entre outros, podem ser rapidamente intercambiados durante a série de ensaios, gerando dados fundamentais para o desenvolvimento e a otimização do produto ensaiado. Este artigo descreve o desenvolvimento, a construção e a calibração das câmaras de ensaio acústico de esquadrias da Atenua Som.

## **2 Implementação**

O projeto e a construção das câmaras de ensaio acústico de esquadrias, descritos adiante, visam à obtenção das melhores condições possíveis para os ensaios, cujo objetivo é produzir resultados comparáveis aos de laboratórios de ensaio regidos pela norma ISO 140-3:1995.

A norma definida para o procedimento dos ensaios nas câmaras de teste de esquadrias é a ISO 140-4:1998, a qual é destinada primordialmente ao teste *in loco* de isolamento sonoro entre ambientes. Tal norma foi adotada por apresentar um método completo e criterioso para o teste, podendo, em condições ideais, apresentar resultados comparáveis aos de ensaios obtidos em laboratórios com métodos e instalações determinadas pela ISO 140-3:1995.

As câmaras foram projetadas e construídas para que as condições gerais de ensaio fossem muito mais favoráveis à obtenção de resultados confiáveis do que as geralmente encontradas

em ambientes in loco. Desse modo, a geometria, a resposta acústica interna e o isolamento acústico das câmaras foram otimizados, frente às características e às limitações das instalações disponíveis, para que os resultados dos ensaios refletissem o isolamento acústico das amostras (portas e janelas) com a melhor qualidade possível.

Procedimentos e critérios normativos

O ensaio de isolamento acústico entre dois ambientes contíguos (denominados de emissão e recepção, separados por um elemento divisório - geralmente uma parede) consiste basicamente na geração de um sinal acústico de banda larga em um dos ambientes (emissão), e na medição dos níveis de ruído resultantes em ambos os ambientes (emissão e recepção), filtrados por faixas de frequência. A diferença entre os níveis de ruído nos dois ambientes define o isolamento acústico entre ambos. Um ajuste na equação é feito em função das características acústicas internas do ambiente de recepção (reverberação e ruído de fundo), do volume do ambiente de recepção e da área do elemento divisório testado.

A norma ISO 140-4:1998 apresenta as seguintes definições de grandezas, por faixas de frequência de terço de oitava (entre colchetes, as respectivas unidades):

- Nível médio de pressão sonora no ambiente de emissão:  $L_1$  [dB].
- Nível médio de pressão sonora no ambiente de recepção:  $L_2$  [dB].
- Diferença de níveis:  $D = L_1 - L_2$  [dB].
- Tempo de reverberação médio do ambiente de recepção =  $T$  [s].
- Volume do ambiente de recepção =  $V$  [m<sup>3</sup>].
- Área equivalente de absorção no ambiente de recepção:  $A = 0,16T/V$  [m<sup>2</sup>].
- Área da amostra:  $S$  [m<sup>2</sup>].
- Índice de redução sonora aparente:  $R' = D + 10 \log (S/A)$  [dB].

A área equivalente de absorção sonora no ambiente de recepção  $A$  caracteriza a resposta acústica interna do ambiente de recepção. O índice de redução sonora aparente  $R'$  representa o isolamento acústico da partição, e em situações ideais pode ser comparável ao índice de redução sonora  $R$  obtido em um laboratório regido pela ISO 140-3:1995. Também pode ser calculado o valor único  $R'_w$ , ou índice de redução sonora aparente ponderado, obtido conforme o procedimento descrito na norma ISO 717-1:1996.

Para a correta determinação do índice de redução sonora aparente  $R'$ , o método de ensaio apresentado na ISO 140-4:1998 exige que a transmissão sonora indireta (*flanking transmission*) seja desprezível, ou seja, que a transmissão sonora entre os ambientes de emissão e recepção seja realizada primordialmente pelo elemento divisório entre os ambientes. Neste caso, em que a amostra a ser testada é uma esquadria instalada na parede entre as câmaras, é exigido que o índice de redução sonora  $R$  da parede seja pelo menos 10dB superior ao da esquadria em todas as faixas de frequência avaliadas, para que o resultado obtido no teste reflita apenas o desempenho da esquadria.

As medições acústicas devem ser realizadas por medidores de níveis de ruído ou analisadores acústicos tipo 0 ou 1, de acordo com as normas IEC 60651:1979, dotado de filtros de faixas de frequência conforme a norma IEC61260:1995. Para a realização das medições, o sistema

deve ser calibrado utilizando-se de um calibrador acústico definido de acordo com a norma IEC60942:1988. As medições dos tempos de reverberação deverão ser realizadas por equipamentos definidos na norma ISO 354:2003.

O sinal acústico utilizado nas medições deve ser estável e deve apresentar um espectro contínuo nas faixas de frequências avaliadas; o nível gerado deve garantir que as medições do ruído transmitido ao ambiente de recepção sejam pelo menos 10dB superiores ao ruído de fundo em todas as faixas de frequência avaliadas. Para salas pequenas, como no presente caso, é recomendado que a fonte sonora seja posicionada nos cantos da sala.

As medições dos níveis de pressão sonora devem ser realizadas de modo a obter-se uma média temporal e espacial do ruído em cada ambiente. Assim, a ISO 140-4:1998 determina que sejam adotados pelo menos 5 pontos fixos de medição em cada sala, e 2 pontos de fonte sonora. Desse modo, cada ambiente terá o mínimo de 10 medições de níveis equivalentes de pressão sonora, das quais deve ser calculada a média energética, conforme a Equação 1.

$$L = 10 \log \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{L_j}{10}} \right) dB \quad (1)$$

Na equação observada,  $L_j$  são os níveis equivalentes de pressão sonora  $L_1$  a  $L_n$  medidos em cada combinação de ponto de medição/posição de fonte sonora.

As medições em cada ponto fixo de microfone devem ter a duração mínima de 6 s, e devem ser filtradas por faixas de frequência de 1/3 de oitava de 100 a 3.150 Hz. No caso de se desejar obter resultados comparáveis aos de ensaios de laboratórios regidos pela ISO 140-3:1995, as faixas de frequência de 4.000 e 5.000 Hz também devem ser empregadas. Para as medições do ruído de fundo no ambiente de recepção, pode-se adotar apenas um ponto de microfone.

As medições dos tempos de reverberação no ambiente de recepção devem ser realizadas em pelo menos três pontos de medição, utilizando-se no mínimo uma posição de fonte sonora, e, em cada ponto, ao menos dois decaimentos devem ser registrados. O valor do tempo de reverberação  $T$  deve ser a média dos tempos de reverberação medidos em cada ponto, para cada faixa de frequências.

## **2.1 Construção das câmaras**

As câmaras de ensaio foram construídas em uma sala previamente utilizada como depósito no galpão da fábrica da Atenua Som, com 11,10 m de comprimento e 2,52 m de largura. A cobertura original era feita com as telhas metálicas do galpão, visto que a sala se encontra em um mezanino. O espaço original sofria a interferência de pilares e vigas estruturais do galpão, que não podiam ser alterados.

Após a análise do local disponível e das exigências práticas e normativas do projeto, optou-se por dividir a sala original em três câmaras com aproximadamente 3,34 m de comprimento

cada, sendo duas câmaras de emissão, localizadas nas extremidades, e uma câmara central de recepção, disposta entre as outras duas. Uma das câmaras de emissão seria utilizada exclusivamente para janelas; a outra, exclusivamente para portas. Isso evita em grande parte a utilização de alvenaria para o ajuste dos vãos de instalação das amostras, tornando mais ágil sua instalação e desmonte.

Para a adequação do isolamento acústico das câmaras, foi construída sob as telhas originais uma laje inclinada em concreto, no intuito de se evitar o paralelismo e, conseqüentemente, campos acústicos com modos pronunciados. Cada uma das câmaras possui uma abertura quadrada na laje para iluminação e ventilação, formando uma claraboia fechada com um caixilho acústico basculante com vidro insulado. As paredes laterais originais foram reformadas, e os vitrôs originais, removidos e substituídos por caixilhos fixos com vidro insulado, propiciando boa visibilidade e isolamento acústico compatível com o da alvenaria. Em cada câmara foi instalada uma porta acústica em alumínio e vidro insulado.

As paredes de divisão entre as câmaras foram construídas em alvenaria com 0,50 m de espessura, ancoradas nos pilares de concreto originais. Tal configuração busca propiciar um alto isolamento acústico entre as câmaras, e a ligação com os pilares auxilia na redução de transmissões indiretas. Além disso, faz com que o isolamento acústico das paredes de divisão seja muito superior ao das amostras ensaiadas, garantindo que os índices de redução sonora aparentes  $R'$  representem o desempenho das esquadrias.

A parede entre a câmara de emissão 1 e a câmara de recepção conta com um vão de  $1,20 \times 1,20$  m, destinada à instalação de janelas, e a parede entre a câmara de emissão 2 e a câmara de recepção conta com um vão de  $2,00 \times 1,20$  m, destinada à instalação de portas. Os vãos são definidos com caibros de madeira maciça embutidos na alvenaria, o que facilita a instalação. Os caibros serão substituídos quando estiverem desgastados ou danificados.

### **3 Resultados**

A seguir são apresentados os resultados da calibração das câmaras de teste e do ensaio de uma amostra de referência, cuja configuração já foi ensaiada em um laboratório credenciado regido pela ISO 140-3:1995.

A calibração das câmaras de teste consiste na avaliação e no ajuste de seus campos acústicos internos, no intuito de se adequarem às exigências da ISO 140-4:1998, proporcionando, assim, as melhores condições possíveis para os ensaios.

#### **3.1 Calibração das câmaras**

Depois de concluída a obra civil das câmaras de teste de esquadrias, foi iniciada uma série de medições acústicas para a caracterização do campo acústico interno aos ambientes de emissão

e recepção, no intuito de detectar problemas e de avaliar a adequação às exigências normativas.

Conforme as exigências do item 6.3 da ISO 140-4:1998, foram definidos cinco pontos de medição em cada câmara, respeitando-se as distâncias mínimas exigidas. Em cada câmara também foram definidas duas posições de fonte sonora, junto aos cantos inferiores, conforme permite o item A.2 da ISO 140-4:1998.

Inicialmente, foram medidos os tempos de reverberação por faixa de frequência de terço de oitava nos três ambientes, para cada ponto de medição, e para cada posição de fonte sonora, gerando-se, portanto, dez medições para cada câmara. As medições foram realizadas pelo método de resposta impulsiva integrada, com o *software* Room EQ Wizard, utilizando varredura de seno como sinal determinístico.

Os resultados apresentaram elevados tempos de reverberação com fortes componentes modais, resultando em grandes variações nos valores medidos abaixo de 400 Hz. Em alguns pontos, as medições simplesmente não puderam ser realizadas devido às fortes ressonâncias no sistema de áudio causadas pelos modos acústicos das salas. A Figura 1 apresenta o espectrograma e o gráfico com os resultados dos tempos de reverberação medidos em um dos pontos de medição da câmara de emissão 1, demonstrando a influência modal, os elevados tempos de reverberação e o alto desvio entre os valores obtidos.

Definiu-se, então, que as câmaras seriam tratadas acusticamente. Visto que as dimensões das câmaras não são propícias para a geração de campos reverberantes, optou-se por seguir a padronização do tempo de reverberação em 0,5 s, adotado como referência no item 3.4 da ISO 140-4:1998 por ser típico de ambientes mobiliados. Desse modo, foram instalados absorvedores acústicos de banda larga cuidadosamente posicionados em cada câmara.

As medições dos tempos de reverberação foram então realizadas novamente, nas mesmas condições anteriores. A Figura 2 apresenta o espectrograma e os tempos de reverberação medidos no mesmo ponto de medição da câmara de emissão 1 representado anteriormente. É possível notar a menor duração e a maior uniformidade dos decaimentos, assim como adequação dos tempos de reverberação à referência estabelecida, o reduzido desvio nas baixas frequências.

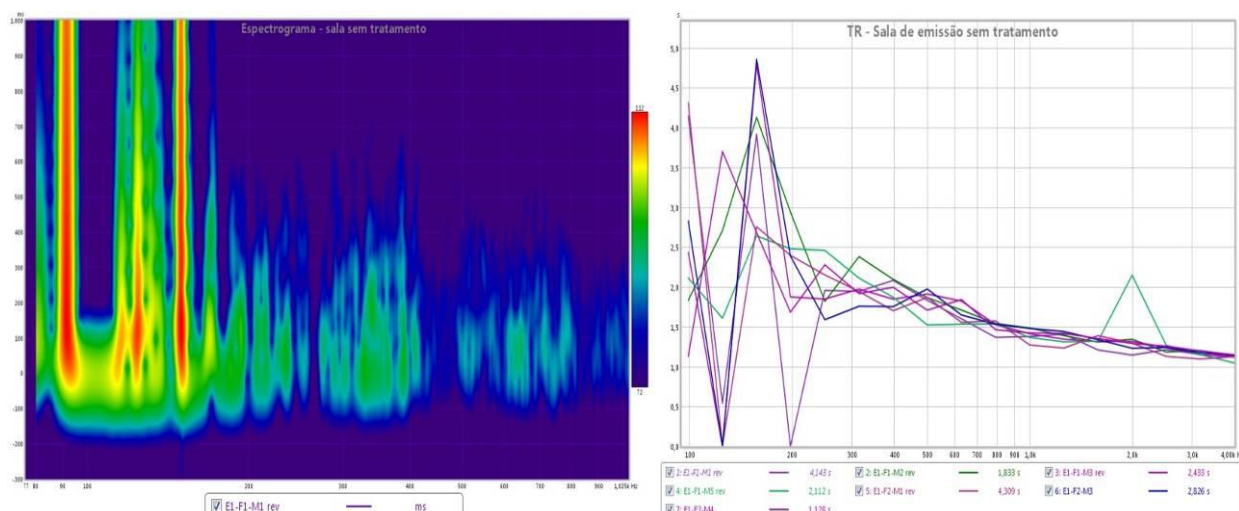


Figura 1: Espectrograma e tempos de reverberação - sala não tratada

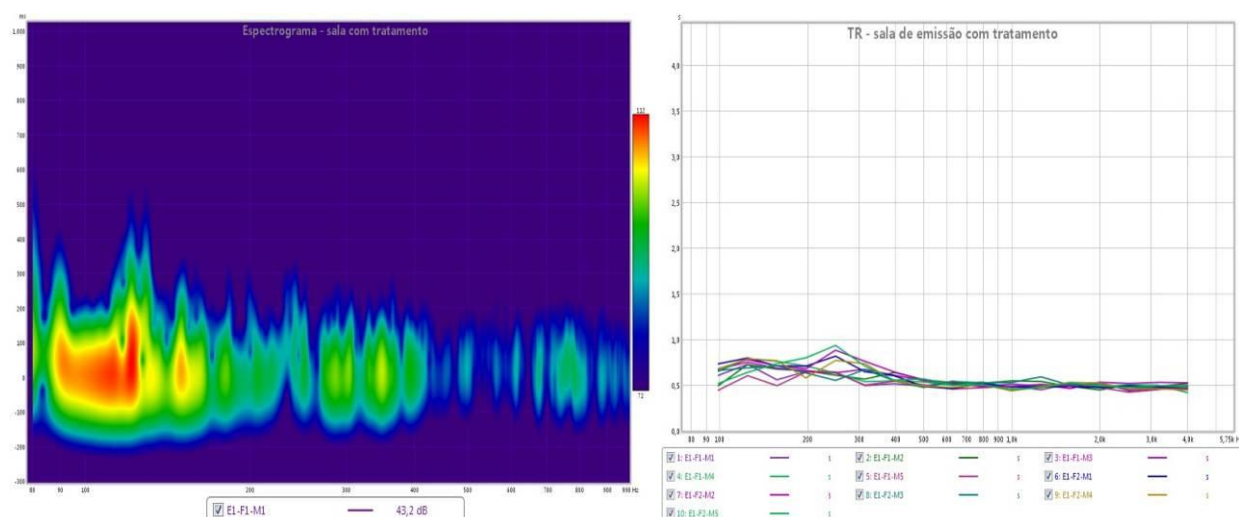


Figura 2: Espectrograma e tempos de reverberação - sala tratada

### 3.2 Resultado do ensaio

Concluída a calibração das câmaras, foi determinada uma amostra de referência para a avaliação do sistema com base no resultado de um ensaio realizado conforme a ISO 140-3:1995. A amostra de referência, um caixilho de correr de duas folhas em perfis de alumínio e panos de vidro insulado (4 mm + 9 mm ar + 4 mm), com dimensões de 1,20 × 1,00 m, havia sido ensaiada no Laboratório de Conforto Ambiental do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT), conforme o Relatório de Ensaio n. 905.093, datado de 23/10/2003. O Laboratório de Conforto Ambiental do IPT é a principal referência brasileira no ensaio de isolamento sonoro, segundo a ISO 140-3:1995.

A amostra de utilizada no ensaio de teste das câmaras não foi a mesma ensaiada no IPT, porém foi construída seguindo exatamente as mesmas especificações e componentes, com a única diferença nas dimensões: 1,20 × 1,20 m. As dimensões da amostra original não

punderam ser reproduzidas devido à restrição das dimensões do vão de instalação de janelas aos valores mencionados.

O ensaio foi realizado seguindo-se os procedimentos da ISO 140-4:1998 descritos anteriormente. A Figura 3 apresenta o gráfico e a tabela com os valores de  $R'$  da amostra de referência, medidos nas câmaras de teste de esquadrias, assim como os valores de  $R$ , da amostra ensaiada pelo IPT. Também apresenta os valores do índice de redução sonora aparente ponderado,  $R'_w$ , e do índice de redução sonora ponderado,  $R_w$ , incluindo os coeficientes de adaptação de espectro  $C$  e  $C_{tr}$ , calculados de acordo com a ISO 717-1:1996.

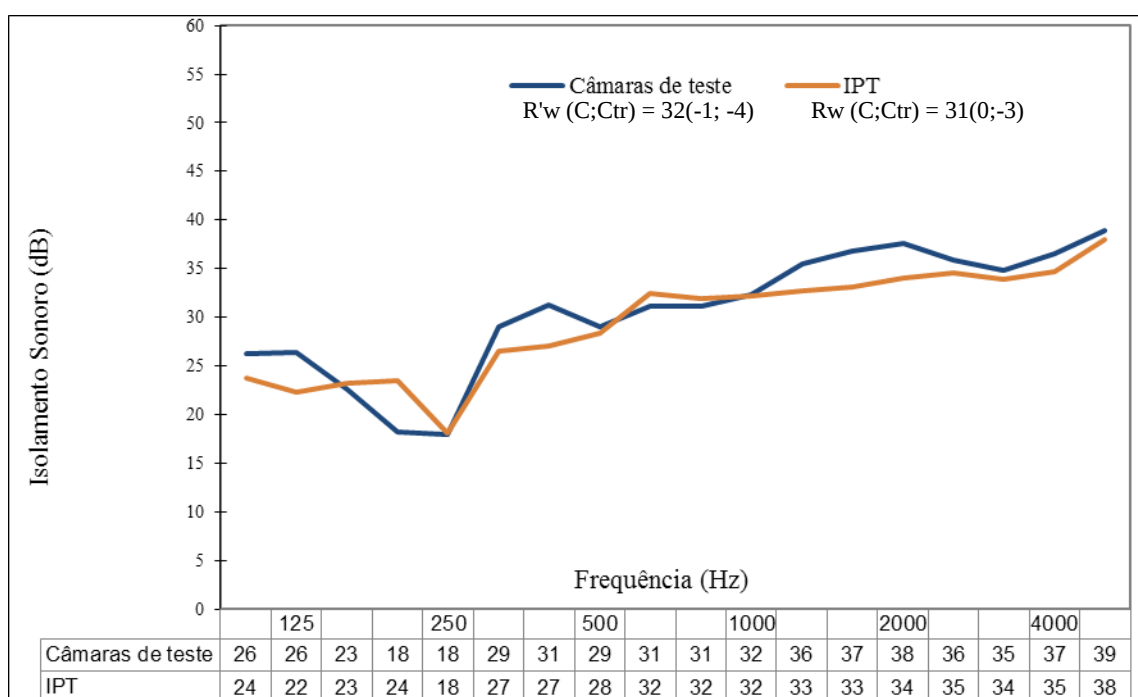


Figura 3: Comparação entre os resultados

## 4 Conclusões

Os resultados do ensaio da amostra de referência e sua comparação com os resultados obtidos pelo IPT podem ser considerados plenamente satisfatórios para o objetivo das câmaras de ensaio acústico de esquadrias da Atenua Som. A diferença de 1 dB entre o  $R'_w$  e o  $R_w$  refletem a proximidade dos resultados confirmados pela equivalência dos valores quando somados aos coeficientes de adaptação de espectro  $C$  e  $C_{tr}$ . É importante ressaltar que ensaios acústicos de isolamento sonoro embutem uma variabilidade intrínseca em seus resultados, podendo até mesmo gerar valores diferentes quando ensaiados duas vezes em um mesmo laboratório, sob as mesmas condições. Logicamente o método de precisão de um laboratório certificado para ensaios pela ISO 140-3:1995 apresenta menor variabilidade do que o método de engenharia descrito na ISO 140-4:1998.

Outro fator a ser considerado na análise dos resultados é a diferença entre as amostras ensaiadas na Atenua Som e no IPT. Por mais que a amostra de referência ensaiada na Atenua Som tivesse sido construída, reproduzindo-se as configurações da janela testada no IPT, as dimensões originais não puderam ser repetidas. Deste modo, a amostra de referência, com 0,24 m<sup>2</sup> de área a mais do que a janela originalmente ensaiada no IPT, potencialmente influenciando sobre a diferença entre os resultados. Espera-se que futuramente novos ensaios comparativos possam ser realizados, reproduzindo-se mais fielmente as amostras ensaiadas no IPT, cujo laboratório foi assumido como referência.

Finalmente, deve-se enfatizar que o objetivo das câmaras de ensaio acústico de esquadrias da Atenua Som não é gerar resultados com a mesma precisão e confiabilidade de um laboratório de acústica regido pela ISO 140-3:1995, pois está claro que as características de suas instalações não o permitem. As câmaras foram construídas para se gerar o melhor resultado de ensaio possível com um método de engenharia, comparável ao de um laboratório certificado (ainda que com menor precisão), e oferecer ao mercado uma estrutura especializada para auxiliar no desenvolvimento de produtos, gerando respostas rápidas a um mercado em expansão.

## Referências

- [1] IEC 60.651 - *"Sound level meters"*. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Genebra, 1979.
- [2] IEC 60.804 - *"Integrating-averaging sound level meters"*. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Genebra, 1985.
- [3] IEC 60.942 - *"Sound calibrators"*. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Genebra, 1988.
- [4] IEC 61.260 - *"Electroacoustics - Octave band filters and fractional-octave band filters"*. INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Genebra, 1995.
- [5] ISO 140-3:1995 - *"Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of building elements"*. INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. Genebra, 1995.
- [6] ISO 140-4 - *"Acoustics - Measurement of sound insulation in buildings and of building elements - Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms"*. INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. Genebra, 1998.
- [7] ISO 354 - *"Acoustics - Measurement of sound absorption in a reverberation room"*. INTERNATIONAL ORGANISATION FOR STANDARDISATION. Genebra, 2003.
- [8] ISO 717-1 - *"Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements - Part 1: Airborne sound insulation"*.
- [9] Relatório de Ensaio Nº 905.093 - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). São Paulo, 2003.