

AVALIAÇÃO DE DIVISÓRIAS INTERNAS FRENTE AO RUÍDO DE VIZINHANÇA SOB A PERSPECTIVA DOS USUÁRIOS NO ÂMBITO BRASILEIRO, ESPANHOL E PORTUGUÊS

Sérgio Klippel Filho¹, Jorge Patrício², Bernardo Tutikian³

¹PPGEC, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil
{sergioklip@edu.unisinos.br}

²Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, Portugal
{jpatricio@lnec.pt}

³PPGEC, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, RS, Brasil
{bftutikian@unisinos.br}

Resumo

A garantia do conforto e privacidade acústica para os usuários das edificações é função da capacidade de isolamento sonoro dos sistemas construtivos, sendo regulamentado por descritores e intervalos de isolamento acústico definidos pelas normas e legislação, tanto no Brasil como na Espanha e em Portugal. No âmbito das edificações, o ruído de vizinhança é um fator de incômodo considerável aos usuários das unidades atingidas, ocorrendo, muitas vezes, em níveis superiores aos definidos como base para delimitação do isolamento sonoro a ser cumprido pelos sistemas construtivos. Diante disto, a presente pesquisa se propõe a avaliar a efetividade do isolamento sonoro de sistemas de divisória interna, sob a perspectiva do usuário, considerando o ruído de vizinhança e o cumprimento dos limites legais e normativos, em uma situação aplicada à realidade do Brasil, Espanha e Portugal. Os resultados obtidos pela pesquisa indicam que a especificação das divisórias apenas pelos descritores de isolamento sonoro não é suficiente para garantia da satisfação dos usuários quando expostos ao ruído de vizinhança.

Palavras-chave: desempenho acústico, isolamento aos sons aéreos, sistemas de vedação vertical, ruído de vizinhança.

Abstract

Assuring acoustic comfort and privacy to the buildings users is one of the assignments expected to be fulfilled by the constructive systems acoustic sound insulation. This requirement is regulated by acoustic descriptors and limits imposed by laws and standards established in Brazil, Spain and Portugal. Into the building environment, neighbouring noise can be a considerable annoying factor to the affected units, occurring, many times, in superior levels than those considered to the sound insulation minimum ratings establishment. Considering this, the following research aims to evaluate the efficaciously of the intern walls sound insulation ratings, from the perspective of the user, considering neighbouring noise and the standard minimum sound insulation requirements in Brazil, Spain and Portugal. The obtained results indicate that prescription of a building construction system exclusively oriented by the minimum sound insulation requirement cannot guarantee the effectiveness of the building sound insulation from the optics of the user satisfaction against neighbouring noise.

Keywords: acoustic performance, airborne sound insulation, separating walls, neighbour noise.

PACS no. 40.50.-x, 43.50.Jh, 43.55.Rg.

1 Introdução

Com a finalidade de promover a habitabilidade dos ambientes construídos, a avaliação do desempenho dos sistemas construtivos que compõem uma edificação é indispensável para o contentamento dos usuários no desenvolvimento de suas atividades, área na qual o isolamento acústico desempenha um papel importante e fundamental independentemente do tipo de uso destinado à edificação. A percepção e sensibilidade dos usuários frente aos ruídos tem a tendência de aumentar com o tempo, requisitando atualização contínua dos parâmetros de aceitação e desempenho. Neste sentido, soluções construtivas com um adequado isolamento acústico são necessárias para a garantia do desenvolvimento das atividades em harmonia e privacidade acústica entre as unidades de uma edificação, devendo integrar o programa de necessidades de uma edificação desde o primeiro estágio para garantia de satisfação futura dos usuários [1, 2, 3 e 4].

Assim, fica evidente a necessidade de um isolamento sonoro, por parte dos sistemas construtivos, capaz de atenuar os sons externos, para níveis adequados, e possibilitar o desenvolvimento de atividades geradoras de ruído nos ambientes internos sem impactar as unidades adjacentes, garantindo a privacidade sonora [1, 5].

Considerando a normalização do desempenho das edificações e seus sistemas construtivos, no Brasil, tal papel é desempenhado pela norma ABNT NBR 15575-4 [6], que impõe a necessidade de atendimento de diversos requisitos, dentre eles o isolamento aos sons aéreos. No âmbito dos sistemas de vedação vertical internos, o isolamento sonoro é avaliado por meio de valores mínimos de diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$), havendo limites intermediários e superiores de desempenho como um fator de diferencial.

Na Espanha os requisitos de desempenho acústico para os componentes da edificação se dão pela Lei n° 7/2002 [22], avaliando o isolamento dos sistemas construtivos internos por meio da diferença padronizada de nível ponderada em A ($D_{nT,A,w}$). E em Portugal, de forma análoga, a regulamentação do isolamento sonoro a ser garantido pelos sistemas construtivos é prevista pelo Decreto-Lei n.º 129/2002 [7], em termos de valores mínimos de $D_{nT,w}$, para edificações de diversos tipos de uso, de forma obrigatória.

A verificação do desempenho acústico das edificações, nos três países, deve ser realizada com a edificação na configuração de entrega ao cliente, ou seja, com a obra finalizada. Neste sentido, Rasmussen [8] e Newell [9] recomendam que o desempenho acústico dos sistemas construtivos deve ser levado em consideração desde a fase de concepção e projeto do empreendimento, seleção dos componentes e materiais construtivos, e controle da execução, para que, quando da edificação finalizada, as medições para verificação de desempenho não tragam surpresas desagradáveis à construtora.

Do ponto de vista brasileiro, a norma ABNT NBR 15575-4 [6] busca correlacionar o índice de isolamento sonoro aos sons aéreos com a inteligibilidade da fala em ambientes adjacentes por meio da consideração dos limites de ruído ambiental presentes nas normas nacionais (ABNT NBR 10151 [10] e ABNT NBR 10152 [11]). Neste caso, não há especificação das características espectrais do som emissor considerado, mas a norma indica que um sistema de compartimentação com $D_{nT,w} \geq 50$ dB é suficiente para que ruídos de vizinhança (fala alta) não sejam audíveis no ambiente receptor. Tal afirmação dificulta uma avaliação assertiva pois não indica o nível sonoro emissor considerado, podendo haver insatisfação do usuário quando do estabelecimento de níveis mais elevados.

No âmbito da acústica de edifícios, Patrício [12] indica que as fontes de ruído internas à edificação possuem origem dos equipamentos prediais de uso coletivo e pelas atividades decorrentes do uso pelos usuários em suas unidades privadas ou áreas comuns. Neste cenário, considerando o ruído de vizinhança decorrente do uso da edificação, Maschke e Niemann [13] descrevem que a natureza das fontes emissoras presentes, o incômodo de uma atividade aos demais usuários é muito elevado devido à natureza dos sons presentes.

Considerando o ruído de vizinhança, o teor de informações presente no ruído entre unidades e ambientes é elevado, ao exemplo de conversas, televisões, rádio e música, causando, inconscientemente, um

desprendimento de atenção por parte do ouvinte, de sua atividade original, para entender a mensagem que aquele som indiretamente está passando, gerando desconforto. Tal condição de incômodo é ainda agravada caso o ouvinte conheça seu vizinho e pela impotência frente a sua ocorrência [13].

Desta forma, o presente estudo se propõe a verificar a possibilidade de incômodo aos usuários de unidades atingidas por ruído de vizinhança dentro da própria edificação, considerando espectros de ruído de conversação, em função do sistema construtivo de divisória e dos requerimentos de isolamento aos sons aéreos correntes no Brasil, Espanha e Portugal.

2 Método

Para avaliação do ruído de vizinhança, o trabalho propõe um ambiente utilizado como dormitório de uma unidade habitacional, o qual possui uma parede de geminação com outra unidade adjacente. Os dois ambientes possuem as mesmas dimensões e configuração, sendo divididos pela parede divisória de interesse, formando um ambiente receptor e outro emissor de ruído. As dimensões de ambos ambientes foi definida a partir das recomendações de Neufert [14]. A Figura 1 ilustra as dimensões adotadas e a identificação das junções entre a parede divisória e seus elementos de contorno.

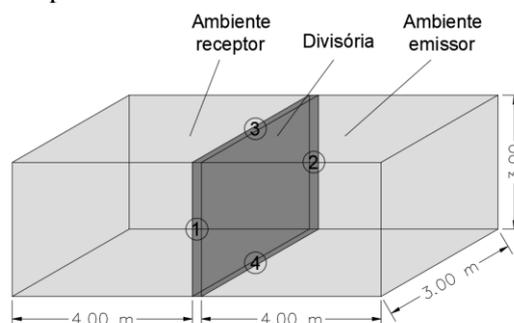
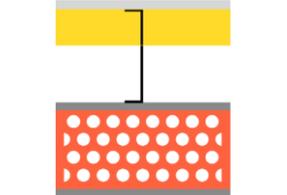
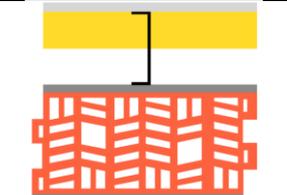


Figura 1 – Configuração dos ambientes e conexões entre os elementos

De modo a subsidiar e viabilizar a análise, foram selecionadas três tipologias de sistema de vedação vertical interno usualmente disponíveis e utilizados no Brasil, Espanha e Portugal, com diferentes capacidades de isolamento aos sons aéreos, sendo caracterizados em laboratório por Guillen et al. [15] e Oliveira et al. [16]. Para a análise de cada sistema de divisória, foi considerado que as outras três paredes que compõem cada ambiente são idênticas à divisória sob análise e um sistema de laje maciça em betão armado foi padronizada para todas as configurações para delimitação do pavimento inferior e superior à divisória de interesse. Os índices de redução sonora do sistema de piso foram obtidos a partir das indicações da norma ABNT NBR ISO 12354-1 [17]. Desta forma, a Tabela 1 descreve e especifica as principais características físicas dos sistemas de divisória e de piso, e a Figura 2 ilustra os índices de redução sonora de cada sistema construtivo.

Tabela 1 – Característica dos sistemas construtivos

| Nomenclatura | Descrição | Composição | Massa sup. (kg/m ²) |
|------------------|--|---|---------------------------------|
| DIV-1 | Parede de blocos cerâmicos estruturais (14 cm) + revestimento em argamassa em ambas as faces (2 cm) |  | 234 |
| DIV-2 | Parede de tijolos cerâmicos (11 cm) revestida em argamassa em ambas as faces (1 cm) + <i>steelframe</i> com caixa de ar (8 cm) e lã mineral (5 cm) + placa de gesso acartonado (1,25 cm) |  | 221 |
| DIV-3 | Parede de blocos cerâmicos (14 cm) revestida em argamassa em ambas as faces (1 cm) + <i>steelframe</i> com caixa de ar (5 cm) e lã mineral (5 cm) + placa de gesso acartonado (1,25 cm) |  | 199 |
| Laje maciça B.A. | Laje maciça de betão armado (12 cm) |  | 264 |

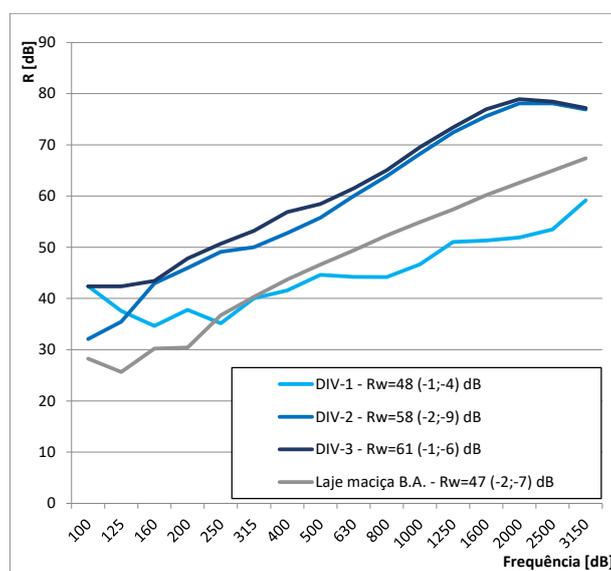


Figura 2 – Índices de redução sonora dos sistemas construtivos

De posse dos índices de redução sonora de cada sistema construtivo, sua capacidade de isolamento sonoro *in situ* prevista para a condição de ambiente proposta foi estimada a partir das prescrições da norma ABNT NBR ISO 12354-1 [17]. Para tal, os índices de redução sonora de cada um dos três sistemas de parede e do sistema de piso foram corrigidos para valores *in situ* (R_{situ}).

Para retratar uma condição de campo, as análises foram realizadas em bandas de frequência de um terço de oitava, nas bandas centrais de 100 a 3.150 Hz. A transmissão marginal foi estimada a partir da relação de massas superficiais, definidas pela homogeneização da massa dos componentes que compõem cada sistema construtivo, e foram definidas junções do tipo “T” para as arestas 1 e 2, e do tipo “X” para as

arestas 3 e 4, a partir da identificação presente na Figura 1. Todas as junções foram consideradas rígidas para determinação dos índices de redução de vibração (K_{ij}) associados à transmissão marginal entre os elementos.

A capacidade de isolamento aos sons aéreos foi estimada, considerando as transmissões marginais, por meio da diferença padronizada de nível (D_{nT}), calculada a partir da Equação 1, para cada banda central de frequência, e seu resultado ponderado ($D_{nT,w}$) foi obtido com base nas premissas da norma ISO 717-1 [18].

$$D_{nT} = -10\log\left[10^{\frac{-R_{Dd}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd}}{10}}\right] + 10\log\left[\frac{(0,16V)}{(0,5S)}\right], \quad (1)$$

sendo: D_{nT} é a diferença padronizada de nível; R_{Dd} é o índice de redução sonora do elemento de separação direta; R_{Ff} é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Ff ; R_{Df} é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Df ; R_{Fd} é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Fd ; V é o volume do ambiente receptor; S é a área do elemento de separação direto.

Ainda, seguindo as mesmas premissas, foi determinada a diferença padronizada de nível ponderada em A ($D_{nT,A}$), conforme Equação 2, sendo também calculado o valor ponderado ($D_{nT,A,w}$) por meio da norma ISO 717-1 [18].

$$D_{nT,A} = -10\log\left[10^{\frac{-R_{Dd,A}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,A}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,A}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,A}}{10}}\right] + 10\log\left[\frac{(0,32V)}{(S)}\right], \quad (1)$$

sendo: $D_{nT,A}$ é a diferença padronizada de nível ponderada em A; $R_{Dd,A}$ é o índice de redução sonora do elemento de separação direta ponderado em A; $R_{Ff,A}$ é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Ff ponderado em A; $R_{Df,A}$ é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Df ponderado em A; $R_{Fd,A}$ é o índice de redução sonora do elemento do encaminhamento marginal Fd ponderado em A; V é o volume do ambiente receptor; S é a área do elemento de separação direto.

De modo a avaliar a influência da capacidade de isolamento sonoro do sistema de divisória frente ao ruído de vizinhança, sob a perspectiva de um usuário no ambiente receptor, foram selecionados quatro espectros de fala masculina. Neste caso, foram selecionados dados de fala masculina pois possuem maior energia sonora, para um mesmo nível de esforço, do que a voz feminina. Tais espectros de fala possuem níveis de pressão sonora distintos, presentes na Figura 3, em bandas de um terço de oitava de 100 a 3.150 Hz, e foram retratos no estudo de Pearsons, Bennett e Fidell [19], conforme indica Olsen [20], sendo medidos em câmara anecoica e baseados na locução de um texto padrão. Tais espectros compõem a fonte emissora, presente no ambiente emissor, utilizada neste trabalho.

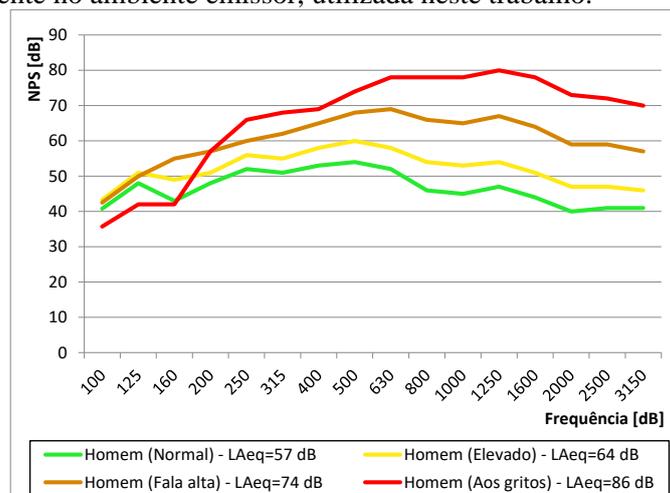


Figura 3 – Espectros de conversação de homens (adaptado de Olsen [20])

Por meio dos espectros de fala, utilizados como fonte emissora, e da previsão de isolamento aos sons aéreos (D_{nT}) de cada sistema construtivo de divisória, o nível de pressão sonora no ambiente receptor, em cada banda central de frequências, foi calculado a partir da Equação 2. Ainda, a partir dos níveis de pressão sonora calculados para o ambiente receptor, foi determinado seu valor equivalente ponderado em A (L_{Aeq}) com base nas premissas da curva de ponderação A da norma IEC 61672-1 [21].

$$L_{eq,rec} = L_{eq,emi} - D_{nT} + 10 \log \left(\frac{T}{T_0} \right), \quad (2)$$

Em que $L_{eq,rec}$ é o nível de pressão sonora equivalente estabelecido no ambiente receptor, em dB; $L_{eq,emi}$ é o nível de pressão sonora equivalente estabelecido no ambiente emissor, em dB; D_{nT} é a diferença padronizada de nível estimada de cada sistema, em dB; T é o tempo de reverberação do ambiente receptor, considerado igual a 0,5 s; T_0 é o tempo de reverberação de referência, igual a 0,5 s.

Para ambientes com a finalidade de dormitório, a norma brasileira ABNT NBR 10152 [11] adota como limite para o nível de pressão sonora ponderado em A (L_{Aeq}) de 35 dB, enquanto que a legislação espanhola, em termos da Lei n° 7/2002 [22], preconiza um L_{Aeq} limite mais restritivo para o período noturno, de 30 dB. Em termos espectrais, a ABNT NBR 10152 [11] impõe como limite a Curva NC-30 (Noise Comfort Curves).

Por meio de tais definições, subsidiado pela amplificação do incômodo associado ao teor de informações presente em conversações, a Tabela 2 indica a proposição deste trabalho para a avaliação da perspectiva de incômodo do usuário em função do ruído estabelecido no ambiente receptor, em termos equivalentes e por banda de frequências. Tais limites de análise para ocorrência de incômodo foram baseados nos limites normativos e da legislação supracitados, e pelo estudo de Maschke e Niemann [13], sendo propostos mais dois limites, com diferenças de 5 dB, de modo a promover diferenças perceptíveis de nível sonoro.

Tabela 2 – Possibilidade de incômodo na dependência do nível sonoro em dormitórios

| Avaliação | L_{Aeq} (dB) | Curva NC |
|---------------------------------|----------------|----------|
| Provável ocorrência de incômodo | 35 | NC-30 |
| Possível ocorrência de incômodo | 30 | NC-25 |
| Baixa probabilidade de incômodo | 25 | NC-20 |

Frente à regulamentação de cada país, os intervalos de avaliação da capacidade mínima de isolamento aos sons aéreos de paredes que dividem dormitórios entre unidades habitacionais estão presentes na Tabela 3, conforme a norma brasileira ABNT NBR 15575-4 [6], Decreto-Lei n.º 129/2002 [7] português, e Código de Edificações [23] espanhol.

Tabela 3 – Isolamento acústico aos sons aéreos de divisórias entre dormitórios no Brasil, Espanha e Portugal

| País | Parâmetro de avaliação | Nível de desempenho |
|----------|-------------------------------|---------------------|
| Brasil | $45 \leq D_{nT,w} \leq 49$ dB | Mínimo |
| | $50 \leq D_{nT,w} \leq 54$ dB | Intermediário |
| | $D_{nT,w} \geq 55$ dB | Superior |
| Espanha | $D_{nT,A,w} \geq 45$ dB | - |
| Portugal | $D_{nT,w} \geq 50$ dB | - |

3 Resultados e discussão

Iniciando a apresentação dos resultados e discussão, a Tabela 4 indica a capacidade de isolamento aos sons aéreos ponderada, estimada considerando as contribuições marginais, das três composições de divisória e sua avaliação de desempenho e atendimento dos requisitos do Brasil, Espanha e Portugal.

Tabela 4 – Avaliação dos sistemas construtivos frente aos requisitos de cada país

| Nomenclatura | $D_{nT,w}$ (dB) | $D_{nT,A,w}$ (dB) | Nível de desempenho | | |
|--------------|-----------------|-------------------|---------------------|---------|------------|
| | | | Brasil | Espanha | Portugal |
| DIV-1 | 46 | 48 | Mínimo | Atende | Não atende |
| DIV-2 | 53 | 60 | Intermediário | Atende | Atende |
| DIV-3 | 55 | 61 | Superior | Atende | Atende |

Com base na diferença padronizada de nível ponderada obtida por cada sistema construtivo, em ordem de complexidade de sua composição, é possível verificar que cumprem com desempenho mínimo, intermediário e superior frente à norma brasileira. Ainda, as três divisórias possuem capacidade de isolamento aos sons aéreos adequada à legislação espanhola, porém, frente à normalização portuguesa, a parede DIV-1 possui insuficiência de isolamento sonoro.

Em relação à divisória DIV-1, os níveis de pressão sonora estabelecidos no ambiente receptor, por banda de frequências, em função dos espectros de ruído definidos e da capacidade de isolamento do sistema construtivo, estão apresentados na Figura 4.

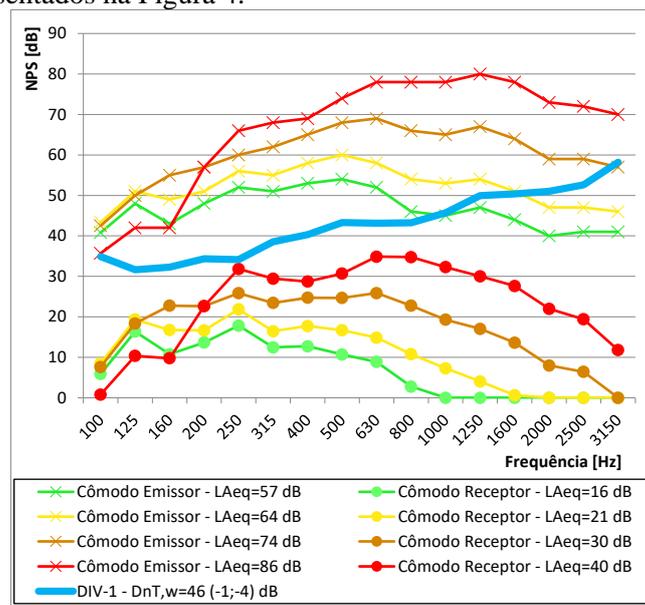


Figura 4 – DIV-1: níveis sonoros estabelecidos nos ambientes

Pela natureza da fonte emissora, há concentração de maior energia sonora na faixa das médias frequências, enquanto que a curva de isolamento sonoro da parede DIV-1 possui um comportamento crescente frente às frequências, resultando em uma menor capacidade de atenuação dos espectros de ruído de vizinhança na faixa de bandas centrais de frequência de 250 a 2.000 Hz.

Considerando os dois espectros de ruído de fala com menor energia sonora (L_{Aeq} de 57 e 64 dB), o sistema de divisória possui isolamento sonoro suficiente para atenuar os níveis sonoros para classificação pela curva NC-15, resultando em uma baixa probabilidade de incômodo para os usuários do ambiente receptor. Todavia, com estabelecimentos de fala com níveis equivalentes ao L_{Aeq} igual a 74 dB no ambiente emissor, a divisória DIV-1 tem menor eficiência na redução sonora e são estabelecidos

ruídos classificados pela curva NC-25 no ambiente receptor, introduzindo a possibilidade de incômodo aos usuários. O cenário se acentua quando da presença de ruídos emissores com L_{Aeq} de 86 dB, resultando em uma classificação pela curva NC-40, evidenciando uma insuficiência de isolamento sonoro da divisória, resultando em uma provável ocorrência de incômodo aos usuários do ambiente receptor.

A partir deste panorama, apesar do sistema de parede DIV-1 atender ao requisito mínimo de desempenho brasileiro, e ser adequando frente à legislação espanhola, quando do estabelecimento de níveis de ruído de vizinhança com L_{Aeq} maior ou igual a 74 dB é esperada uma possibilidade de incômodo aos usuários da unidade vizinha.

De forma análoga, considerando o sistema de divisória DIV-2, os níveis de pressão sonora estabelecidos no ambiente receptor, a partir da capacidade de isolamento sonoro da parede e dos níveis de ruído emissores, estão ilustrados na Figura 5.

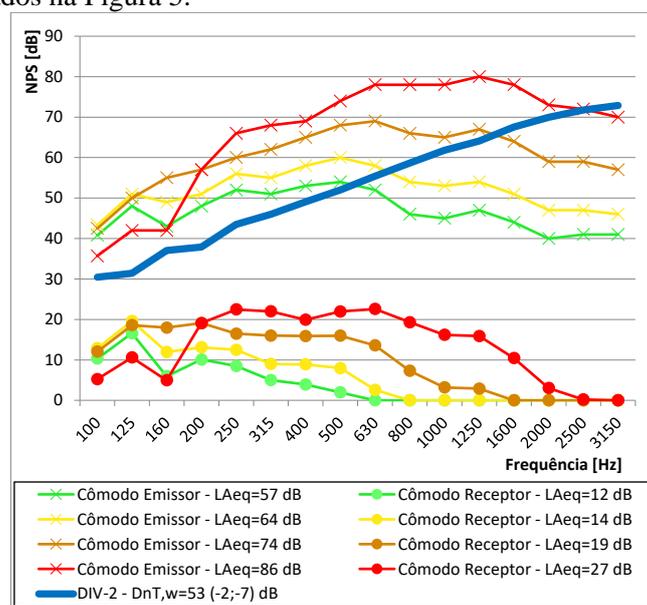


Figura 5 – DIV-2: níveis sonoros estabelecidos nos ambientes

Em termos da parede DIV-2, sua razão de aumento da capacidade de isolamento com as frequências é mais elevada quando comparada à DIV-1, apresentando certa insuficiência de isolamento, frente aos espectros de ruído de maior energia, na faixa de frequências centrais de 200 a 800 Hz.

Todavia, a diferença padronizada de nível estimada para o sistema é suficiente para redução dos níveis de ruído no ambiente receptor para valores na ordem de 20 dB nas bandas de frequências de média frequência, resultando em curvas NC-15 para os espectros de ruído com L_{Aeq} de 57 a 74 dB, e curva NC-20 para o ruído de fala com maior energia. Desta forma, com utilização deste sistema construtivo é esperada uma baixa probabilidade de incômodo dos usuários da unidade receptora.

Desta forma, o sistema de divisória DIV-2 possui uma capacidade de isolamento sonoro adequada para uma baixa probabilidade de incômodo aos usuários do ambiente receptor, além de ser classificada com desempenho intermediário frente à norma brasileira e estar de acordo com o requisito espanhol e português.

Por último, os dados para a análise dos níveis ruído de vizinhança estabelecidos no ambiente receptor com utilização da divisória DIV-3 estão expressos por meio da Figura 6.

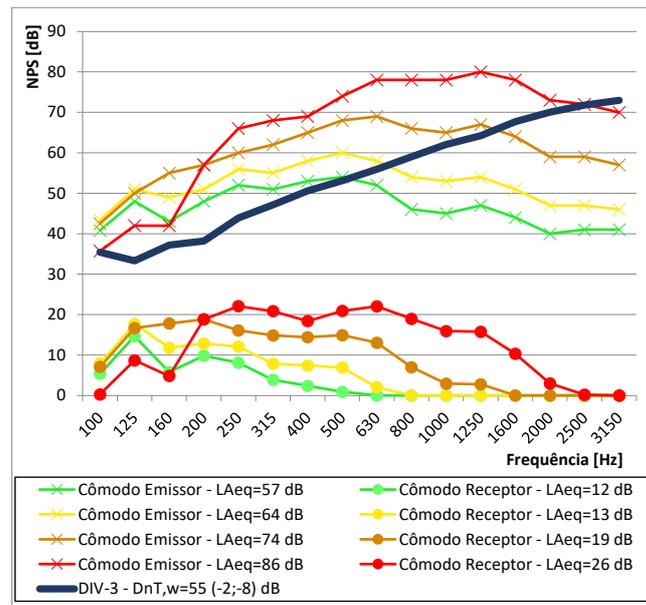


Figura 6 – DIV-3: níveis sonoros estabelecidos nos ambientes

Para o sistema de parede DIV-3, seu comportamento frente às frequências é similar ao da DIV-2, porém, com maior capacidade de isolamento sonoro nas bandas de baixa e média frequência, resultando ligeiramente em uma maior eficiência na atenuação dos níveis de ruído estabelecidos no ambiente receptor.

De forma correlata ao sistema DIV-2, a divisória DIV-3 possui capacidade de isolamento ao ruído de vizinhança suficiente para reduzir os sons emissores de maior energia para curvas de classificação NC-20 no ambiente receptor, resultando em uma prospecção de baixa probabilidade de incômodo aos usuários.

Esta avaliação indica que o sistema construtivo DIV-3 também é adequado para utilização considerando todos os espectros de fala propostos, além de ter potencial para cumprimento com o desempenho superior frente à norma brasileira e ser adequado perante à legislação da Espanha e Portugal.

De forma complementar à análise dos níveis sonoros previstos no ambiente receptor por banda de frequências, a Figura 7 apresenta os resultados equivalentes do nível de pressão sonora no ambiente receptor, em função dos espectros de ruído e da atenuação sonora promovida pelos sistemas de divisória propostos.

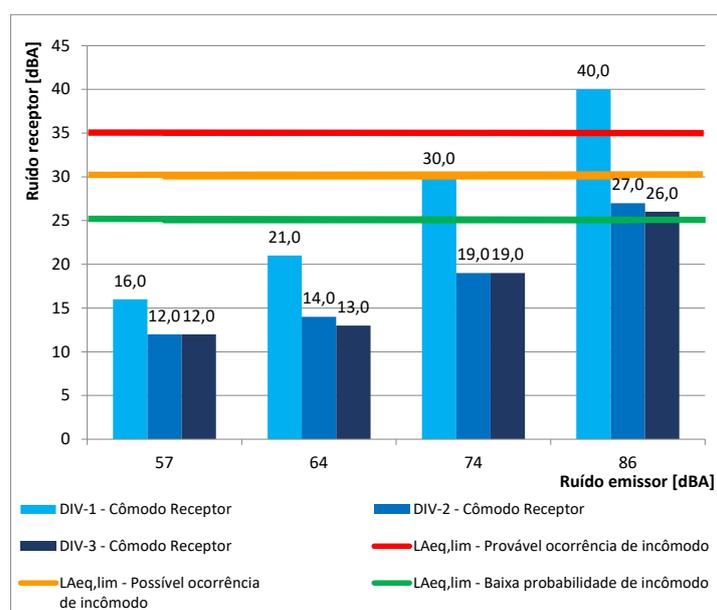


Figura 7 – Níveis de ruído equivalentes estabelecidos no ambiente receptor na dependência de cada divisória e espectro de conversação

A partir da representação gráfica dos níveis de pressão sonora equivalentes ponderados em A do ruído estabelecido no ambiente receptor, fica evidente que os três sistemas construtivos de parede possuem capacidade de isolamento sonora adequada para atenuação do ruído de vizinhança para níveis nos quais pode ser considerada uma baixa probabilidade de incômodo. O cenário muda para a DIV-1 quando considerado o espectro de fala com L_{Aeq} igual a 74 dB, sendo constatada uma insuficiência de isolamento sonoro suficiente para que haja uma possível ocorrência de incômodo.

Tal situação de insuficiência de isolamento sonoro é agravada quando considerado o nível de ruído emissor com L_{Aeq} de 86 dB, no qual é esperada uma provável ocorrência de incômodo aos usuários do ambiente receptor quando do uso da DIV-1, e uma possível ocorrência de incômodo aos usuários quando da utilização dos sistemas de parede DIV-2 e DIV-3.

Esta avaliação indica que nem os sistemas construtivos com maior capacidade de isolamento sonoro são capazes de reduzir os níveis sonoros equivalentes ponderados em A de forma a promoverem uma baixa probabilidade de incômodo. Desta forma, mesmo as divisórias que foram classificadas com desempenho intermediário e superior frente à norma brasileira, e cumprem com o requisito espanhol e português, não possuem uma capacidade de isolamento aos sons aéreos adequada para a redução da possibilidade de incômodo dos usuários vizinhos às unidades geradoras de ruído.

Ainda, se reforça que a análise por bandas de frequências apontou para uma baixa probabilidade de incômodo aos usuários do ambiente receptor com a utilização dos sistemas de parede DIV-2 e DIV-3, o que não foi confirmado pela análise dos valores equivalentes ponderados em A, que identificou uma possível ocorrência de incômodo quando do estabelecimento de níveis de ruído emissores com L_{Aeq} igual a 86 dB. Assim, mesmo considerando o sistema construtivo com desempenho superior frente à norma brasileira (DIV-3), sua capacidade de isolamento sonoro não foi suficiente para redução dos níveis sonoros no ambiente receptor para uma baixa probabilidade de incômodo.

Tal divergência de classificação entre os parâmetros de análise, por bandas de frequência (curvas NC) e níveis equivalentes (L_{Aeq}), indica a necessidade de uma avaliação conjunta entre tais descritores para retratar da melhor forma os ruídos estabelecidos nos ambientes receptores e promover uma indicação assertiva da probabilidade de incômodo aos usuários.

Cabe ressaltar que as avaliações feitas neste trabalho foram baseadas nas escolhas e delimitações definidas na metodologia e podem não retratar de forma genérica condições distintas, com ambientes de

diferentes configurações, sistemas construtivos com características físicas e acústicas distintos, além de fontes sonoras de ruído de vizinhança com espectros diferentes dos propostos. Desta forma, a presente avaliação não pode ser generalizada, sendo que cada caso deve ser avaliado individualmente, levando em consideração também a expectativa do usuário para a edificação sob análise.

Ainda, ressalta-se que o sistema de laje de piso proposto, quando analisado como sistema de partição entre dormitórios de mesma configuração, mas adjacentes verticalmente, sua capacidade de isolamento sonoro é suficiente para que haja uma baixa probabilidade de incômodo para os níveis de ruído de vizinhança com L_{Aeq} de até 64 dB. No caso de ruídos emissores com nível de pressão sonora equivalentes de 74 dB existe a possibilidade da ocorrência de incômodo, e com ruído de vizinhança emissor com L_{Aeq} de 86 dB é provável a ocorrência de incômodo. Ainda, nesta análise os níveis sonoros descritos pelas curvas NC e L_{Aeq} resultaram na mesma avaliação, não havendo divergência entre o resultado dos parâmetros. Desta forma, mesmo o objetivo do artigo ser focado na avaliação das paredes de geminação, tal situação reforça a necessidade de avaliação global de todos os sistemas construtivos que compõe o ambiente para garantia do cumprimento das expectativas dos usuários.

4 Considerações finais

A proposição deste trabalho em avaliar a definição de sistemas de parede sob a ótica do usuário teve o objetivo de evidenciar que a especificação dos sistemas construtivos baseada somente no critério de desempenho ou de aceitação pode ser falha quando do estabelecimento de níveis elevados de ruído de vizinhança, não garantindo que o usuário não se sinta incomodado pelo uso das unidades vizinhas em situações reais de uso.

Fica evidente que as ferramentas de previsão de desempenho dos sistemas construtivos quando aplicados em condições reais de contorno são indispensáveis para o cumprimento dos requisitos em situações reais, e os resultados obtidos indicam que a componente do nível sonoro que pode ser estabelecido dentro destes ambientes, em situações normais de uso, pode ser uma alternativa positiva para garantia do sucesso de um empreendimento pelo ponto de vista do usuário no quesito de isolamento sonoro aos sons aéreos entre unidades.

Assim, a análise dos níveis de ruído estabelecidos no ambiente receptor em termos de bandas de frequências e valores equivalentes se mostra indispensável para especificação de sistemas de divisória com capacidade adequada de isolamento sonoro. Desta forma, tal análise é complementar à estimativa do isolamento sonoro de uma composição construtiva *in situ* e evidencia a necessidade de consideração dos prováveis espectros sonoros que podem ser estabelecidos dentro das unidades quando do seu uso.

Por fim, considerando os espectros de ruído de vizinhança, a envolvente e os sistemas de parede propostos, mesmo com uso de um sistema de parede com classificação de desempenho superior frente à norma do Brasil e que se adequa ao requisito espanhol e português, não há garantia de satisfação do usuário em relação ao isolamento acústico do ambiente se a sua especificação não foi baseada também na consideração dos espectros de ruído que podem ser estabelecidos nas unidades vizinhas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

[1] HOPKINS, C. *Sound insulation*. 1. ed. Oxford: Elsevier, 2007.

- [2] RINDEL, J. H. *Sound insulation in buildings*. 1. ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group LLC, 2018.
- [3] ALLEN, E.; IANO, J. *Fundamentals of building construction: materials and methods*. 7. ed. New Jersey: John Wiley and Sons Inc., 2019.
- [4] POHL, J. *Building science: concepts and application*. 1. ed. Chichester: John Wiley Ltd, 2011.
- [5] RINDEL, J. H.; RASMUSSEN, B. *Buildings for the future: the concept of acoustical comfort and how to achieve satisfactory acoustical conditions with new buildings. COMET-SAVIOR Course*, Grenoble: CSTB, 18 p., 1995.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR 15575: edificações habitacionais: desempenho: parte 4: requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas*. Rio de Janeiro, 2021.
- [7] PORTUGAL. *Decreto-Lei n° 129*, de 11 de maio de 2002. Dispõe sobre o regulamento dos requisitos acústicos dos edifícios. Lisboa: Presidência da República, 2002. Disponível em: https://www.pgdlisboa.pt/leis/lei_mostra_articulado.php?nid=3106&tabela=leis&so_miolo=. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [8] RASMUSSEN, B. Sound insulation between dwellings – requirements in building regulations in Europe. *Applied Acoustics*, v. 71, n. 6, p. 373-385, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2009.08.011>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [9] NEWELL, P. *Recording studio design*. 4. ed. Oxford: Elsevier Ltd., 2017.
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR 10151: acústica: medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas – aplicação de uso geral*. Rio de Janeiro, 2019.
- [11] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR 10152: acústica: níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações*. Rio de Janeiro, 2017.
- [12] PATRÍCIO, J. *Acústica nos edifícios*. 7. ed. Porto: Quântica Editora, 2018.
- [13] MASCHKE, C.; NIEMANN, H. Health effects of annoyance induced by neighbour noise. *Noise Control Engineering Journal*, 2007. v. 55, n. 3, p. 348–356. Disponível em: <https://doi.org/10.3397/1.2741308>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [14] NEUFERT, E. *A arte de projetar em arquitetura*. 42. ed. Porto Alegre: Bookman, 2022.
- [15] GUILLEN, I.; URIS, A.; ESTELLES, H.; LLINARES, J.; LLOPIS, A. On the sound insulation of masonry wall façades. *Building and Environment*, v. 43, n. 4, p. 523-529, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2007.01.010>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [16] OLIVEIRA, M. F. de; KLIPPEL FILHO, S.; PACHECO, F.; PATRÍCIO, J. V.; TUTIKIAN, B. F. Influence of ceramic block geometry and mortar coating on the sound reduction of walls. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 21, n. 2, p. 195-207, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000200521>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [17] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *ABNT NBR ISO 12354: acústica de edificações: estimativa do desempenho acústico nas edificações por meio do desempenho de elementos: parte 1: isolamento a ruído aéreo entre ambientes*. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- [18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 717: acoustics: rating of sound insulation in buildings and of building elements: part 1: airborne sound insulation*. Geneva: ISO, 2020.

- [19] PEARSONS, K. S.; BENNETT, R. L.; FIDELL, S. Speech levels in various noise environments. *Report n° EPA-600/1-77-025*, Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 1977.
- [20] OLSEN, W. O. Average speech levels and spectra in various speaking/listening conditions. *American Journal of Audiology*, 1998, v. 7, n. 2, p. 21-25. Disponível em: [https://doi.org/10.1044/1059-0889\(1998/012\)](https://doi.org/10.1044/1059-0889(1998/012)). 11 de jun. de 2024.
- [21] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC). *IEC 61672: electroacoustics: sound level meters: part 1: specifications*. Geneva: IEC, 2013.
- [22] ESPANHA. *Lei n° 7*, de 03 de dezembro de 2002. Dispõe sobre a proteção contra a poluição sonora. Valência: Corts Valencianes, 2002. Disponível em: <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2003-613&p=20211230&tn=0>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.
- [23] ESPANHA. *Código Técnico de la Edificación – Protección frente al ruido*, de 20 de dezembro de 2019. Madrid: Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019. Disponível em: <https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/ProteccionRuido.html>. Acesso em: 11 de jun. de 2024.