XXX ENCONTRO DA SOBRAC 2023
SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA
19 a 22 de novembro de 2023
Natal - RN

Avaliação acústica de sistemas prediais e hidrossanitárias conforme normas NBR 10152:2017 e NBR 15575:2021

Nascimento, N. L. F.[1]; Coelho, F. C.[2]; Sales, G. O.[3]; Rocha, D. G.[4]

[{1, 2, 3, 4}] Síntese Acústica Arquitetônica, Brasília, DF, Brasil, {laboratorio, fabiana, guilherme, auxiliar.laboratorio}@sintesearquitetura.com.br

Resumo

Dentro da acústica de edificações a avaliação de níveis sonoros gerados por equipamentos prediais e hidrossanitários se faz importante dado o incômodo que pode gerar. Diante disso, o objetivo deste estudo foi comparar os resultados obtidos por diferentes procedimentos metodológicos admitidos pelas normas NBR 10152 [2] e NBR 15575 [1]. A metodologia utilizada consistiu em estudo de caso com análise de doze ensaios de campo realizados conforme procedimentos normativos, em dormitórios acabados, mobiliados e não mobiliados. Os critérios de avaliação de conformidade utilizados foram das normas NBR 15575 [1], partes 1 e 6, e NBR 10152 [2]. Observou-se que os maiores níveis sonoros foram obtidos sem a aplicação da padronização pelo tempo de reverberação. Em relação à avaliação de conformidade, não foi observada grande diferença entre a aplicação das duas normas adotadas. No entanto, as diferenças nos resultados numéricos podem influenciar nas avaliações de conformidade em outras situações. Como conclusão, sugere-se estabelecer na NBR 10152 [2] uma hierarquia clara entre os procedimentos metodológicos admitidos. Recomenda-se para estudos futuros avaliar uma amostra mais ampla, considerando análises estatísticas e incertezas de medição. Este estudo contribui para o entendimento das diferentes metodologias normativas e seus impactos nos resultados de avaliação acústica em edificações residenciais, fornecendo subsídios para aprimorar os critérios de avaliação e garantir um melhor desempenho.

Palavras-chave: desempenho acústico, edificações, equipamentos prediais, normas técnicas

Abstract

Within the field of building acoustics, the evaluation of sound levels generated by building and plumbing equipment is important due to the potential discomfort it can cause. Therefore, the objective of this study was to compare the results obtained using different methodological procedures allowed by the standards NBR 10152 [2] and NBR 15575 [1]. The methodology used consisted of a case study with analysis of twelve field tests conducted according to the standard procedures, in finished bedrooms, both furnished and unfurnished. The conformity assessment criteria used were based on the standards NBR 15575 [1], parts 1 and 6, and NBR 10152 [2]. It was observed that the highest sound levels were obtained without applying the standardization based on reverberation time. Regarding conformity assessment, there was no significant difference between the application of the two adopted standards. However, the differences in the numerical results may influence conformity assessments in other situations. In conclusion, it is suggested to establish a clear hierarchy among the accepted methodological procedures in NBR 10152 [2]. For future studies, it is recommended to evaluate a broader sample, considering statistical analyses and measurement uncertainties. This study contributes to the understanding of different normative methodologies and their impact on the evaluation of acoustic performance in residential buildings, providing insights to improve evaluation criteria and ensure better performance.

Keywords: acoustic performance, buildings, building equipment, technical standards

1. Introdução

As atividades humanas são, em geral, potenciais fontes de emissão sonora, que podem gerar incômodo a terceiros. Algumas das atividades desenvolvidas em residência não são diferentes: os momentos de lazer, tais como assistir televisão ou as brincadeiras das crianças; ou os momentos de trabalho, como limpeza da casa, preparo das refeição ou rotinas de higiene pessoal, podem ser fontes ruidosas para as atividades de descanso e concentração, sensíveis a ruídos, como dormir e estudar.

O contraste entre fonte de ruído e receptor sensível aumenta quando são analisadas edificações residenciais multifamiliares. Nesses casos, a fonte e o receptor podem pertencer a núcleos familiares diferentes, o que dificulta a gestão de intensidade e horário das fontes. Por isso, frequentemente as administrações condominiais registram reclamações relacionadas a ruído dos vizinhos. Para além disso, alguns equipamentos essenciais para a funcionalidade da edificação — equipamentos prediais, tais como elevadores, geradores de energia, bombas hidráulicas, e sistemas hidrossanitários, como vasos sanitários e tubulações — podem gerar ruídos incômodos aos moradores. Como o incômodo é uma sensação subjetiva que varia de acordo com o indivíduo envolvido, os critérios normativos são extremamente importantes. Esses critérios, geralmente, são baseados em estudos de comportamento da média populacional europeia e no estado da arte das edificações nacionais.

Atualmente existem duas normas brasileiras aplicáveis à avaliação de ambientes com base nos níveis sonoros resultantes do funcionamento dos equipamentos prediais: a norma mais específica, apesar do seu caráter não obrigatório, faz parte da série de normas NBR 15575 Edificações habitacionais - Desempenho [1]; e a norma NBR 10152 Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações [2].

No caderno um desta série de normas da NBR 15575 [1] estão descritos critérios para avaliação dos níveis sonoros provocados por equipamentos prediais em edifícios residenciais; já no caderno seis, os mesmos critérios são aplicados a avaliação dos níveis sonoros provocados especificamente pelos sistemas de instalações hidrossanitárias. Uma vez que ruídos de sistemas prediais são geralmente um dos maiores alvos de reclamação dos moradores de edifícios residenciais multifamiliares, atender à esta norma é uma forma de garantir maior conforto acústico para os usuários do edifício, sobretudo nos ambientes de permanência, como salas e dormitórios.

A outra norma aplicável e obrigatória no contexto de equipamentos prediais, a NBR 10152 [2], uma das normas brasileiras de acústica mais antigas. Em sua redação original, datada de 1987, não constava referência específica a ruídos de equipamentos prediais ou de instalações hidrosanitárias. No entanto, em sua versão mais recente, a NBR 10152 Acústica — Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações [2], há várias referências a ruídos de equipamentos prediais e de instalações hidrossanitários, dentre as quais destacam-se recomendações de utilização de procedimentos específicos para avaliação desses tipos de ruído.

Tendo em vista que as duas normas supracitadas, apesar de semelhantes, possuem diferenças no tratamento de um objeto de avaliação comum (equipamentos prediais e instalações hidrossanitárias), o objetivo deste trabalho é avaliar resultados de ensaios realizados conforme ambas as normas e compará-los. Logo, partindo da aplicação de diferentes combinações de metodologias de ensaio e de critérios de avaliação de conformidade propostos pelas normas NBR 10152 [2] e NBR 15575 [1], objetivou-se a comparação de resultados de ensaios quanto ao atendimento normativo.

2. Fundamentos

Em edifícios residenciais, muitas são as fontes geradoras de ruído, naturais ao seu funcionamento cotidiano. Uma parte dessa geração de ruído é oriunda de atividades relacionadas ao uso de torneiras, banheiras, descargas de vaso sanitário, ventilação mecânica, equipamentos de aquecimento e

refrigeração, elevadores, bombas, aquecedores, entre outros [3]. Esses ruídos podem incomodar aos moradores e por isso devem receber especial atenção em um projeto de acústica.

A propagação desses ruídos pode acontecer de duas formas: aérea e estrutural. No caso de sistemas hidrossanitários, a propagação aérea acontece devido à vibração ocasionada pelo fluido ao passar pelas tubulação, sendo esta vibração irradiada para o ar. A propagação estrutural, por outro lado, é ocasionada pelo impacto do fluido contra a tubulação, causando uma vibração que será transmitida e amplificada pela estrutura do edifício na qual está rigidamente conectada [4].

Para equipamentos prediais, tais como bombas e elevadores, a transmissão também ocorre por via aérea e estrutural, a partir do acionamento do equipamento e durante o seu funcionamento. A geração de ruído aéreo é, em muitos equipamentos, intrínseca ao seu funcionamento, seja por meio de escapamentos ou por ventoinhas para ventilação. Para essas situações, vale averiguar também um possível acréscimo nos níveis de ruído devido ao mau funcionamento dos equipamentos, em função de suas condições de uso e falta de manutenção. Já na transmissão estrutural, a vibração produzida pelos equipamentos é transmitida para a estrutura através dos pontos de fixação do equipamento, assim como pelas tubulações ou conexões rígidas que o ligam ao sistema do qual faz parte, sendo amplificada e irradiada no edifício.

Para mitigar a problemática dos ruídos gerados por equipamentos prediais e hidrossanitários em edifícios residenciais, projetistas recorrem a soluções acústicas como: envelopamento das tubulações com mantas; desconexão das abraçadeiras de fixação; adoção de linhas de desacoplamento de tubulações e controle de ruído aéreo e desacoplamento de equipamentos por meio de amortecedores de vibração. No entanto, devido ao tratamento acústico nesse contexto não apresentar obrigatoriedade pela NBR 15575 [1] e à falta de laudos técnicos fornecidos pelos fabricantes, o tratamento desses sistemas ainda possui pouca adesão dos construtores do Brasil [4].

Procedimentos técnicos de medição em campo para obter valores para tais grandezas são apresentados no texto das normas NBR 10152 [2] (método aqui chamado de “padrão”) e NBR ISO 16032 [3]. Para a avaliação de conformidade dos ruídos medidos, são empregadas as grandezas[1] descritas no Quadro 1.

Quadro 1: Símbolos para níveis sonoros, adaptado das NBR 10152 [2] e NBR ISO 16032 [3].

Símbolo	Grandeza
L_{Aeq}	Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A, representativo de um ambiente
$L_{Aeq,T}$	Nível de pressão sonora contínuo equivalente ponderada em A e integrado em um intervalo de tempo T
L_{ASmax}	Nível máximo de pressão sonora ponderada em A e ponderado em S
$L_{eq,T,fHz(1/1)}$	Nível de pressão sonora contínuo equivalente na banda de 1/1 oitava de frequência nominal f Hz e integrado em um intervalo de tempo T
L_{NC}	Nível NC representativo do ambiente

2.1 Medição conforme NBR 10152

A fim de garantir qualidade acústica e bem-estar aos usuários, a NBR 10152 [2], em sua versão corrigida de 2020, estabelece procedimentos técnicos para medições de níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações, assim como valores de referência em função do uso do ambiente avaliado.

[1] Propriedade dum fenômeno dum corpo ou duma substância, que pode ser expressa quantitativamente sob a forma dum número e duma referência [6]

Enquanto procedimento de medição, a NBR 10152 [2] estabelece um método padrão, descrito no corpo da norma, e faz também recomendação do método da NBR ISO 16032 [3].

A norma NBR 10152 [2] recomenda que, para ambientes avaliados em condição diferente daquela em que foi realizado a medição, seja feita padronização pelo tempo de reverberação. Esta padronização pode ser feita por medição do tempo de reverberação conforme NBR ISO 16032 [3] ou por valores tabelados do índice de reverberação k da NBR ISO 10052 [5]. A norma permite, portanto, mais de uma possibilidade de padronização em relação ao tempo de reverberação e o procedimento metodológico consiste em determinar o nível sonoro da fonte-objeto de avaliação, do som residual, e, eventualmente, padronizar em relação à reverberação.

Logo, em se tratando de avaliações de fontes sonoras como equipamentos prediais, pode-se aplicar: (a) o método padrão puramente; (b) o método padrão e realizar padronização pela reverberação conforme NBR ISO 16032 [3]; (c) o método padrão e realizar padronização pela reverberação conforme NBR ISO 10052 [5]; (d) ou seguir a recomendação de aplicar o método da NBR ISO 16032 [3] puramente.

O método padrão da NBR 10152 [2] é dividido entre simplificado e detalhado. O método detalhado baseia-se tanto em níveis globais quanto em níveis espectrais nas bandas de 1/1 de oitava. Ainda, o método detalhado permite avaliar o parâmetros L_{NC} e obter o $L_{eq,fHz(1/1)}$, os quais não fazem parte do objetivo deste estudo e, portanto, não são aqui explorados. O método simplificado, aqui abordado, é utilizado para avaliações com base nos níveis globais de pressão sonora. Nesse caso, utilizam-se os parâmetros L_{Aeq} e L_{ASmax} para cálculo dos níveis representativos do ambiente avaliado.

O procedimento padrão da NBR 10152 [2] para determinação de L_{Aeq} e L_{ASmax} indica que sejam feitas três medições na região central (campo reverberante) do ambiente receptor do ruído. Para avaliação de um som específico, caso dos equipamentos prediais e hidrossanitários, é indicada a avaliar o nível sonoro total e o residual. A norma indica que as medições sejam executadas com no mínimo três pontos distribuídos pelo ambiente, distantes a pelo menos 0,7 m entre si e 1 m dos limites da sala e de outros objetos presentes. A cada 30 m² adicionais em ambientes com áreas superiores a 30 m², um novo ponto de medição deve ser acrescido.

Caso o som da fonte-objeto de avaliação não seja predominando em relação ao som residual, o som específico é obtido por meio da subtração logarítmica entre ambos. O nível sonoro equivalente por banda de oitava (som total ou residual) é dado pela média logarítmica dos níveis sonoros das posições medidas. O valor global equivalente L_{Aeq} consiste no somatório logarítmico dos níveis sonoros das bandas de frequências de 63 Hz a 8000 Hz. O nível máximo global L_{ASmax} é determinado pela escolha do maior nível dentre os pontos de medição.

2.2 Medição conforme NBR ISO 16032

Para avaliar um ambiente interno a edificação em situações em que a fonte é um equipamento predial, é recomendado pela NBR 10152 [2] utilizar o procedimento da NBR ISO 16032 [3]. Neste procedimento, o nível sonoro proveniente da fonte de ruído é determinado pela de medições do ciclo de operação do equipamento predial avaliado. No Anexo B da NBR ISO 16032 [3] há instruções de condições e ciclos de operação para diferentes equipamentos prediais, dentre eles elevadores, bacias sanitárias e sistemas de ventilação.

Os ciclos de operação do equipamento predial devem ser avaliados em duas posições no campo reverberante do ambiente receptor (região central) e na posição de canto de nível mais alto de pressão sonora ponderada em *C*. Neste ponto existem, portanto, diferenças metodológicas para obtenção dos mesmos descritores apresentados na NBR 10152 [2].

Os níveis sonoros equivalentes, máximos e de som residual e o tempo de reverberação também devem ser medidos em bandas de oitavas de 63 Hz a 8000 Hz no espectro linear (não ponderado). O nível sonoro por banda de oitava (equivalente, máximo ou residual) é dado pela média logarítmica dos níveis

sonoros das posições de centro e de canto. Destaca-se neste caso que no método da NBR 10152 [2] o nível máximo é determinado através da escolha do maior nível medido nos três pontos de medição, enquanto pela NBR ISO 16032 [3] é determinado por média logarítmica.

Para correção em relação ao som residual, tem-se que: se a diferença entre nível sonoro do equipamento predial e residual for superior a 10 dB, nenhuma correção deve ser feita; se estiver entre 4 dB e 10 dB, aplica-se uma subtração logarítmica descrita na NBR ISO 16032 [3]; e se for menor que 4 dB, subtrai-se 2,2 dB como correção. Se requerida, a padronização pelo tempo de reverberação pode ser aplicada aos resultados das bandas de oitavas de 63 Hz a 8000 Hz no espectro linear (não ponderado), desde que o tempo de reverberação seja medida ocorrer conforme procedimento da ISO 3382-2 [7].

Na sequência, os resultados são ponderados em *A* aplicando dos valores fornecidos no Anexo A da NBR ISO 16032 [3]. O valor global consiste no somatório logarítmico dos níveis sonoros das bandas de frequências de 63 Hz a 8000 Hz, obtendo-se o $L_{Aeq,nT}$ e o $L_{ASmax,nT}$. Caso não haja necessidade de padronização em relação ao tempo de reverberação, os resultados serão L_{Aeq} e L_{ASmax}.

2.3 Medição conforme NBR ISO 10052

O procedimento descrito na NBR ISO 10052 [5], denominado como método simplificado pela NBR 15575 [1], apresenta o mesmo princípio metodológico da NBR ISO 16032 [3] para obtenção de L_{Aeq} e de L_{ASmax}. A diferença está na não obrigatoriedade de caracterização do som residual e na forma de se obter a padronização dos descritores em relação ao tempo de reverberação do ambiente receptor. Para tal padronização é utilizado o índice de reverberação *k*, descritos nas tabelas 3 e 4 da NBR ISO 10052 [5], resultando nos descritores $L_{Aeq,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$.

A NBR ISO 10052 [5] indica procedimentos para determinação de diversos parâmetros de isolamento sonoro, dentre eles para equipamentos prediais. Nestes casos, o índice de reverberação *k* é obtido através: (1) da média aritmética dos tempos de reverberação de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz; ou (2) no caso de ambiente receptor em que não existem componentes fortes de baixa frequência, aplicando o índice de reverberação para ponderação em *A* e *C*, que são compostos pelas médias entre 500 Hz e 2000 Hz.

2.4 Avaliação de conformidade segundo NBR 15575:2021 e NBR 10152:2017

Apesar da avaliação de conformidade da NBR 15575 [1] não ser obrigatória, é recomendado que sejam atendidos os seus requisitos de desempenho acústico. A NBR 15575 [1] trata como equipamento predial aquele de uso coletivo, acionado por outrem, que não o usuário da unidade habitacional objeto de avaliação.

Os parâmetros acústicos utilizados para essa avaliação são o $L_{Aeq,nT}$ e o $L_{ASmax,nT}$. Os procedimentos de medição devem ocorrer conforme NBR ISO 16032 [3], método de engenharia, ou NBR ISO 10052 [5], método simplificado. A NBR 15575 [1], partes 1 e 6, indica que o método de engenharia (tempo de reverberação medido) tem menor incerteza definicional do que o método simplificado (índice de reverberação tabelado). Os critérios e níveis de desempenho previstos pela NBR 15575 [1], partes 1 e 6 são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: Critérios para ruído de equipamentos prediais (dormitórios), adaptado da NBR 15575 [1].

Nível de desempenho	$L_{Aeq,nT}$ (dB)	$L_{ASmáx,nT}$ (dB)
Mínimo	≤ 37	≤ 42
Intermediário	≤ 34	≤ 39
Superior	≤ 30	≤ 36

Quanto a NBR 10152 [2], esta permite a interpretação para uso de quatro combinações metodológicas diferentes para obtenção dos níveis sonoros equivalentes e máximos para comparação com seus critérios de avaliação, sem estabelecer hierarquia entre esses métodos, o que pode gerar dúvidas de qual é o mais apropriado. A análise de conformidade obrigatória da NBR 10152 [2] é feita comparando os parâmetros acústicos L_{Aeq} e o L_{ASmax} resultantes dos ensaios com os valores de referência apropriados (RL_{Aeq} e RL_{ASmax}) para a finalidade de uso do ambiente interno a uma edificação avaliado.

2.5 Resumo comparativo de possibilidades metodológicas normativas

Observam-se diferentes possibilidades de aplicações de procedimentos metodológicos para avaliação de conformidade acústica de equipamentos prediais, de acordo com os requisitos informativos da NBR 15575 [1] ou os requisitos obrigatórios da NBR 10152 [2]. O Quadro 3 resumo as possibilidades de métodos normativos admitidos descritas nesse estudo.

Quadro 3: Métodos admitidos para avaliação acústica de equipamentos prediais.

Procedimento / parâmetro	**L_{Aeq} e L_{ASmax}**		**$L_{Aeq,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$**		**$L_{Aeq,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$**
cenário	caso 01	caso 02	caso 03	caso 04	caso 05
método	**NBR 10152**	**ISO 16032**	**NBR 10152**	**ISO 16032**	**ISO 10052**
pontos de medição	3 centrais	1 canto; 2 centrais	3 centrais	1 canto; 2 centrais	1 canto; 2 centrais
tempo de reverberação	não considerado	não considerado	tabela ISO 10052	medição	tabela ISO 10052
residual	obrigatório	obrigatório	obrigatório	obrigatório	não obrigatório
avaliação de conformidade possível	**NBR 10152**	**NBR 10152**	**NBR 10152**	**NBR 10152 NBR 15575**	**NBR 15575**

Todas as possibilidades de procedimentos para obtenção de resultados aqui evidenciadas estão conforme o texto normativo e geram resultados que podem ser comparados com os mesmos critérios de avaliação de conformidade aplicáveis a equipamentos prediais. Assim, observa-se uma lacuna a ser explorada no que diz respeito a verificar se os valores e as avaliações de conformidade obtidos em cada possibilidade metodológica se assemelham.

3. Materiais e Métodos

A fim de explorar a lacuna existente sobre os resultados obtidos para diferentes considerações metodológicas para avaliação acústica de sistemas prediais, foi realizado estudo de caso considerando dados de ensaios de campo realizados conforme procedimentos da NBR 10152 [2], NBR ISO 16032 [3] e da NBR ISO 10052 [5], para os quais as fontes avaliadas foram equipamentos prediais.

O estudo teve como amostra resultados de doze ensaios de campo executados em ambientes internos a edificações, entre 2020 e 2023. Os ambientes receptores dos ensaios foram dormitórios acabados, com portas, janelas, revestimentos de piso e de teto instalados. Outras características das amostras são apresentadas no Quadro 4. Todos os ensaios foram executados com o mesmo sonômetro (marca 01dB, modelo Fusion, número de série 12497) e calibrador sonoro (marca 01dB, model Cal31, número de série 83393), calibrados em laboratórios acreditados a Rede Brasileira de Calibração (RBC) e que atendem aos requisitos das IEC 61672, IEC 61260 e IEC 60942.

Dado o intuito de comparar resultados obtidos por diferentes procedimentos, foram selecionados os cenários dos casos 01 a 05, descritos no item 2.5 deste estudo. Foi considerado que ambientes não mobiliados se enquadram na situação de condição diferente daquela em que foi realizada a medição, ou seja, na situação em que se faz necessária a padronização em relação ao tempo de reverberação.

Para a determinar o índice de reverberação *k*, foi utilizado o índice de reverberação para ponderação em *A* e *C*, que é composto pela média entre 500 Hz e 2000 Hz. Os critérios de avaliação da NBR 10152 [2] consideraram ambiente com uso final de dormitório, e aplicação de tolerância de 5 dB.

Quadro 4: Descrição da amostra.

Amostra	Fonte avaliada	Tempo de reverberação	Volume do receptor (m³)
1	Equipamento hidrossanitário (bacia sanitária)	Medido e tabelado	28
2			27
3			28
4			29
5			33
6			26
7			23
8	Elevador	Medido e tabelado	51
9*			48
10*		Tabelado	44
11*	Ar-condicionado	Tabelado	35
12*	Exaustão churrasqueira	Tabelado	51

*ambiente mobiliado.

4 Resultados e discussões

Os resultados comparativos obtidos para a amostra avaliada são aqui apresentados. A Tabela 1 apresenta os resultados de nível sonoro equivalente L_{Aeq} obtidos e suas respectivas possibilidades de padronização quanto à reverberação. A Tabela 2 apresenta os mesmos resultados, porém para o nível sonoro máximo L_{ASmax}. No caso 04, as amostras 10, 11 e 12 não apresentam resultados pois não possuíam medição de tempo de reverberação. As Figuras 1 e 2 apresentam os resultados obtidos em gráficos de barras, indicando com linhas pontilhadas os critérios de avaliação das normas da NBR 10152 [2] e NBR 15575 [1], bem como quais amostras estavam ou não mobiliadas.

Em ambientes não mobiliados (amostras de 1 a 8) houve maior variação de resultados (na ordem de 4 dB a 8 dB). Este resultado era esperado, dada a influência da presença de mobiliário no tempo de reverberação do ambiente. Ainda para ambientes não mobiliados, é possível observar na Figura 1 que os maiores níveis equivalentes ocorreram para L_{Aeq} e os menores níveis foram o $L_{Aeq,nT}$, ambos conforme NBR ISO 16032 [3]. Quanto ao nível máximo, ilustrado na Figura 2, as maiores diferenças nos ambientes sem mobília foram observadas entre L_{ASmax} conforme NBR 10152 [2] e o $L_{ASmax,nT}$ conforme NBR ISO 16032 [3].

Percebe-se que em ambientes mobiliados (amostras de 9 a 12) não houve grande variação entre os resultados com ou sem padronização da reverberação, sendo que as amostras 9, 10 e 11 tiveram variação

de 0 dB a 2 dB. Não houve, para o conjunto amostral, cenário que apresentasse claramente resultados acima dos demais.

Tabela 1: Resultados obtidos para níveis sonoros equivalentes.

Amostra/ Parâmetro e cenário	L_{Aeq} [dB] NBR 10152 *Caso 01*	L_{Aeq} [dB] ISO 16032 *Caso 02*	$L_{Aeq,nT}$ [dB] NBR 10152 *Caso 03***	$L_{Aeq,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{Aeq,nT}$ [dB] ISO 10052 *Caso 05*
1	48	49	43	40	44
2	38	39	33	32	34
3	39	39	34	32	34
4	38	40	33	34	35
5	37	37	32	30	32
6	38	40	33	32	35
7	35	37	30	30	32
8	32	32	26	23	27
9*	30	31	30	31	31
10*	35	36	35	-	36
11*	39	38	39	-	38
12*	33	37	33	-	37

*ambiente mobiliado. ** TR tabelado.

Tabela 2: Resultados obtidos para níveis sonoros máximos.

Amostra/ Parâmetro e cenário	L_{ASmax} [dB] NBR 10152 *Caso 01*	L_{ASmax} [dB] ISO 16032 *Caso 02*	$L_{ASmax,nT}$ [dB] NBR 10152 *Caso 03***	$L_{ASmax,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{ASmax,nT}$ [dB] ISO 10052 *Caso 05*
1	52	52	47	44	47
2	47	47	42	40	42
3	45	45	40	38	40
4	54	53	49	48	48
5	45	44	40	38	39
6	46	46	41	41	41
7	45	44	40	37	39
8	36	37	30	29	32
9*	41	41	41	41	41
10*	44	45	44	-	45
11*	41	39	41	-	39
12*	411	38	41	-	38

*ambiente mobiliado. ** TR tabelado.

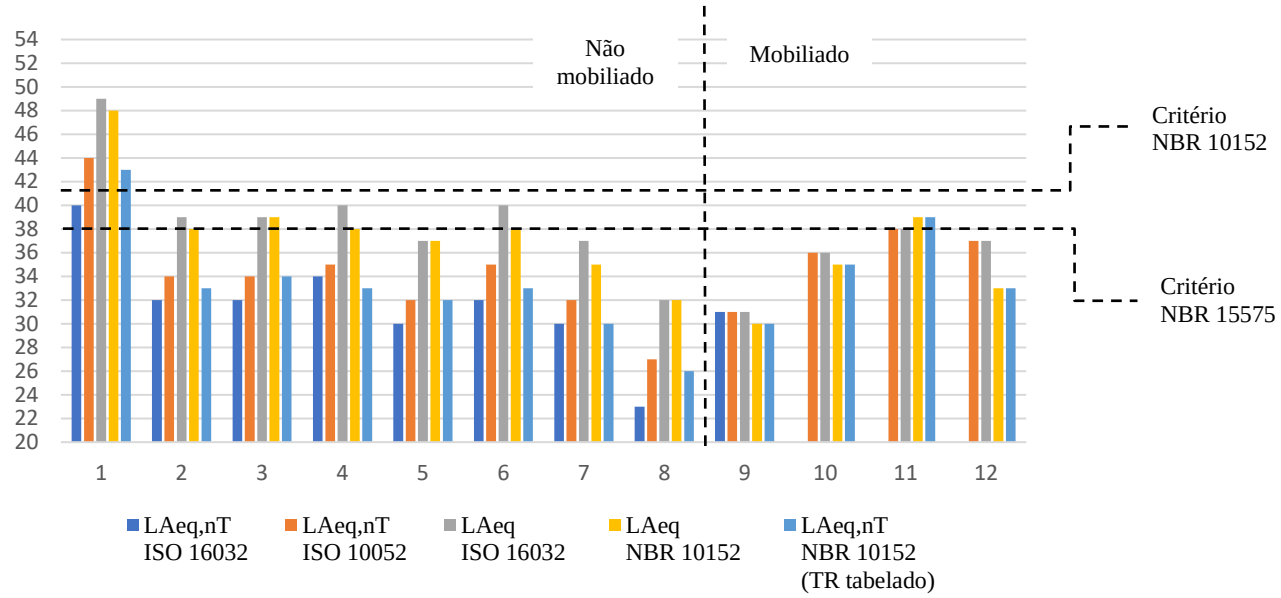


Figura 1: Resultados obtidos para níveis sonoros equivalentes.

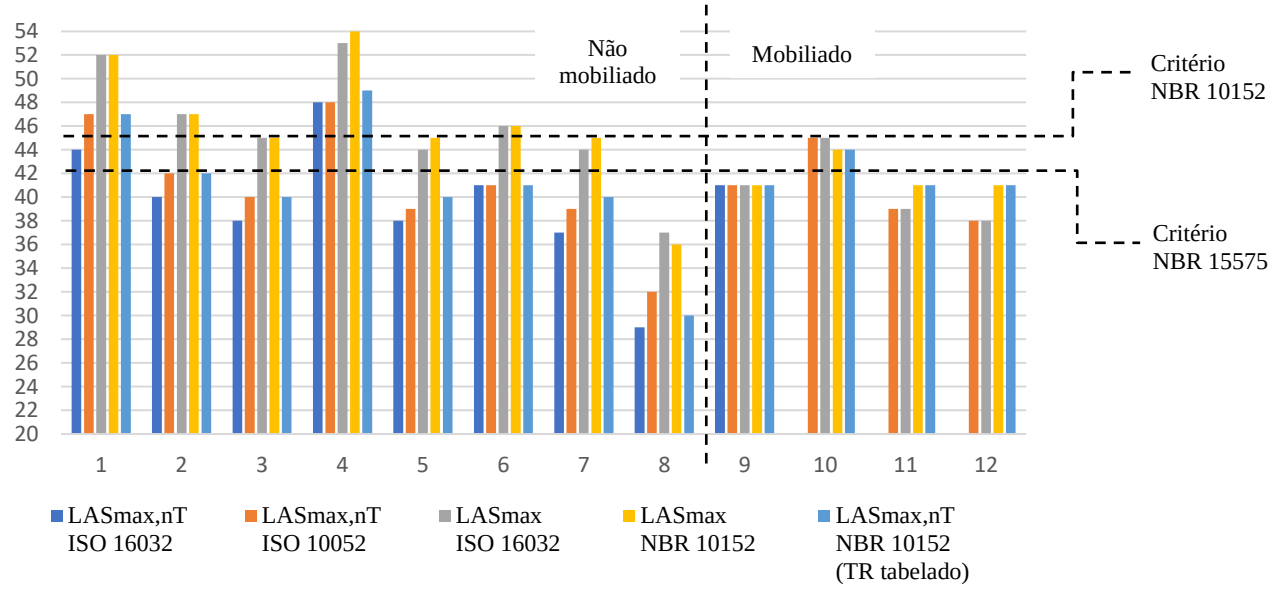


Figura 2: Resultados obtidos para níveis sonoros máximos.

Entendendo como divergência de análise de conformidade quando, para uma mesma amostra, ao menos uma avaliação de conformidade dos casos avaliados não é igual às demais. Deste modo, dentre as análises conjuntas das NBR 10152 [2] e NBR 15575 [1] para o nível equivalente, apenas duas das doze amostras (16,67%) apresentaram divergências em suas análises de conformidade. Dentre as análises envolvendo apenas a NBR 10152 [2], uma amostra (8,33%), para a qual o tempo de reverberação foi medido, apresentou divergência.

Ao analisar o nível máximo, as divergências entre avaliações de conformidade aumentam, uma vez que que as amostras 1, 2, 6 e 10 (33,33%), foram avaliadas de forma diferente em pelo menos um descritor. Nas análises envolvendo apenas a NBR 10152 [2], os níveis máximos tiveram avaliações de conformidade divergentes nas amostras 1, 2 e 6 (25%). Tais amostras tratam de ambientes não mobiliados e seus resultados tiveram aplicação de correção da reverberação. A amostra 1 teve mudança de avaliação de nível máximo quando o tempo de reverberação foi medido. As amostras 2 e 6 apresentaram mudança de resultado de avaliação quando aplicada correção de reverberação medida ou tabelada.

Tabela 3: Avaliações de conformidade para níveis sonoros equivalentes.

Avaliação	NBR 10152 - Critério (dormitório) ≤ 40 dB				NBR 15575 - Critério ≤ 37 dB	
Amostra/ Parâmetro e cenário	L_{Aeq} [dB] NBR 10152 *Caso 01*	L_{Aeq} [dB] ISO 16032 *Caso 02*	$L_{Aeq,nT}$ [dB] NBR 10152 *Caso 03***	$L_{Aeq,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{Aeq,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{Aeq,nT}$ [dB] ISO 10052 *Caso 05*
1	Não atende	Não atende	Não atende	Atende	Não atende	Não atende
2	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
3	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
4	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
5	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
6	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
7	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
8	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
9*	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
10*	Atende	Atende	Atende	-	-	Atende
11*	Atende	Atende	Atende	-	-	Não atende
12*	Atende	Atende	Atende	-	-	Atende

*ambiente mobiliado. ** TR tabelado.

Tabela 4: Avaliações de conformidade para níveis sonoros máximos.

Avaliação	NBR 10152 - Critério (dormitório) ≤ 45 dB				NBR 15575 - Critério ≤ 42 dB	
Amostra/ Parâmetro e cenário	L_{ASmax} [dB] NBR 10152 *Caso 01*	L_{ASmax} [dB] ISO 16032 *Caso 02*	$L_{ASmax,nT}$ [dB] NBR 10152 *Caso 03***	$L_{ASmax,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{ASmax,nT}$ [dB] ISO 16032 *Caso 04*	$L_{ASmax,nT}$ [dB] ISO 10052 *Caso 05*
1	Não atende	Não atende	Não atende	Atende	Não atende	Não atende
2	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende
3	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
4	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende	Não atende
5	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
6	Não atende	Não atende	Atende	Atende	Atende	Atende
7	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
8	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
9*	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Atende
10*	Atende	Atende	Atende	-	-	Não atende
11*	Atende	Atende	Atende	-	-	Atende
12*	Atende	Atende	Atende	-	-	Atende

*ambiente mobiliado. ** TR tabelado.

Dentre as nove amostras em que é possível comparar métodos, no que se trata da avaliação de conformidade envolvendo apenas a NBR 15575 [1], não foram observadas divergências. Não foi observada grande variação de avaliação de conformidade para uma mesma amostra em diferentes casos, tanto para níveis equivalentes quanto para níveis máximos. Apesar disso, percebe-se variação dos resultados numéricos obtidos na ordem de até 8 dB, principalmente em ambientes não mobiliados.

Os resultados de avaliação de conformidade dos resultados de níveis sonoros equivalentes e máximos estão presentes nas Tabelas 3 e 4. As situações de não atendimento às normas são apresentadas com texto em sublinhado e vermelho.

5 Conclusões

O presente estudo teve como objetivo comparar os resultados obtidos pelos procedimentos admitidos pelas normas NBR 10152 [2] e NBR 15575 [1] para avaliação de níveis sonoros equivalentes e máximos gerados por equipamentos prediais e hidrossanitários.

Partindo da avaliação de resultados de um estudo de caso com doze amostras, notou-se que ambientes mobiliados apresentaram resultados semelhantes ao comparar L_{Aeq} com $L_{Aeq,nT}$ e L_{ASmax} com $L_{ASmax,nT}$, respectivamente. Deste modo, não houve variação substancial entre os resultados numéricos caso aplicada ou não a padronização pelo tempo de reverberação. Todavia, a diferença entre os resultados com ou sem padronização aumentou ao comparar ambientes não mobiliados.

Em ambientes não mobiliados, os maiores níveis sonoros equivalentes e máximos foram obtidos respectivamente para L_{Aeq} conforme NBR ISO 16032 [3] e L_{ASmax} conforme NBR 10152 [2], ou seja, para resultados sem aplicação de padronização. Os menores níveis ocorreram para $L_{Aeq,nT}$ e $L_{ASmax,nT}$, ambos conforme NBR ISO 16032 [3], com reverberação medida.

Não foi observada grande divergência de avaliação de conformidade para cada amostra estudada, seja considerando critérios da NBR 10152 [2] e/ou da NBR 15575 [1]. Entretanto, houve significativas variações nos resultados numéricos (de até 8 dB), o que pode, em outras situações, levar a alterações das avaliações de conformidade.

A NBR 10152 [2] permite a interpretação de quatro opções metodológicas diferentes, sem estabelecer hierarquia entre estas. A NBR 15575 [1], por outro lado, indica uma hierarquia de métodos de avaliação, sendo o de engenharia (reverberação medida) indicado e em sequência o método simplificado (índice de reverberação tabelado).

Diante do estudo de caso, tendo em mente o contexto normativo apresentados, e a fim de tornar a aplicação normativa mais assertiva, seria interessante que a NBR 10152 [2] estabelecesse uma hierarquia clara entre os procedimentos metodológicos admitidos. Dessa forma, seria possível proporcionar às partes interessadas uma maior confiabilidade normativa e jurídica ao adotar determinado procedimento para avaliação sonora de equipamentos prediais em edificações. Ainda, a hierarquia clara de procedimentos pode contribuir para o aumento da reprodutibilidade dos ensaios executados por diferentes laboratórios.

Este estudo contribui para o entendimento das diferentes metodologias normativas e seus impactos nos resultados de avaliação acústica em edificações, fornecendo subsídios para aprimorar os critérios de avaliação e garantir um melhor desempenho acústico nas edificações residenciais. Para estudos futuros, sugere-se avaliar uma amostra de ensaios mais ampla, aplicando análises estatísticas e consideradas as incertezas de medição. Ainda, é possível separar a amostra por tipos de fontes de ruído, de modo a verificar se as características da fonte influenciam nos resultados e avaliação de conformidade com as normas vigentes.

Referências

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575:2013/Em:2021 Edificações Habitacionais - Desempenho. Partes 1 a 6. Rio de Janeiro, 2021.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152:2017/Errata 1:2020. Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2020.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 16032:2020 Acústica - Medição de nível de pressão sonora de equipamentos prediais de edificações - Método de engenharia. Rio de Janeiro, 2020.
4. ROCHA, R. R. Análise e caracterização de soluções acústicas para mitigar os ruídos oriundos de instalações hidrossanitárias prediais. *In*: Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3153/tde-16072018-102258/pt-br.php. Acesso em: 01 jul. 2023.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 10052:2022. Acústica - Medições em campo de isolamento a ruído aéreo e de impacto e de sons de equipamentos prediais. Rio de Janeiro, 2022.
6. INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM, 1ª Edição Luso-brasileira, 2012.
7. INTERNATIONAL STANDARD. ISO 3382-2:2008. Acoustics - Measurement of room acoustic parameters - Part 2: Reverberation time in ordinary rooms.