ANÁLISE ACÚSTICA DE UMA GALERIA DE EXPOSIÇÕES A PARTIR DA INTELIGIBILIDADE DA PALAVRA

Marselle Nunes Barbo (1); Eric Brandão (2) ; Viviane S.G. Melo (3)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Maria, marselle.barbo@acad.ufsm.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, eric.brandao@eac.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Centro de Tecnologia, Prédio 7 (sala 107), Bairro Camobi, Santa Maria – RS, 97.105-900, Tel.: (55) 3220-8504

(3) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, viviane.melo@eac.ufsm.br, Universidade Federal de Santa Maria, Av. Roraima nº 1000, Centro de Tecnologia, Prédio 7 (sala 107), Bairro Camobi, Santa Maria – RS, 97.105-900, Tel.: (55) 3220-8504

RESUMO

As atividades desenvolvidas numa edificação irão orientar o programa de necessidades de conforto acústico. Ao projetista, é necessário o conhecimento técnico dessas variáveis alinhado à manipulação em projeto para que o conforto acústico desejado seja alcançado. Museus são espaços em que a experiência dos frequentadores passa por aprendizado e concentração. O conforto acústico, portanto, é item fundamental. Este trabalho avalia a inteligibilidade da fala em museus e sua relação com o ruído residual e tempo de reverberação. Foi estudado o índice de transmissão da fala (STI) dentro de uma galeria da Pinacoteca de São Paulo, seguindo as instruções da norma ISO 3382-3:2022, que segue a metodologia da norma IEC 60268-16:2020. Os testes *in situ* foram realizados a partir de uma fonte omnidirecional emitindo sinal com a potência de uma pessoa falando em esforço normal. Trabalhar inteligibilidade em museus é importante visto o papel educativo que essas edificações representam. Os resultados mostram que a sala possui ruído residual elevado, com R_{LASmax} 62 dB, o que influencia em baixa inteligibilidade, com STI de 0,20 - classificado qualitativamente como *ruim* - mesmo no ponto mais próximo da fonte. É preciso refletir sobre a questão do conforto acústico em museus, bem como parâmetros relevantes para essas edificações, que consequentemente estarão relacionados a questões projetuais.

Palavras-chave: acústica de museus, índice de transmissão da fala, ruído residual.

ABSTRACT

The activities developed in a building will guide the acoustic comfort needs program. To the designer, the technical knowledge of these variables must be aligned with the manipulation in the project so that the desired acoustic comfort is achieved. Museums are spaces in which the visitors' experience is learning and concentration. Acoustic comfort, therefore, is an essential item. This paper evaluates speech intelligibility in museums and its relationship with residual noise and reverberation time. The Speech Transmission Index (STI) was studied inside a gallery of the Pinacoteca of São Paulo, following the instructions of ISO 3382-3:2022, which follows the methodology of IEC 60268-16:2020. The in situ tests were performed from an omnidirectional source emitting a signal with the power of a person speaking in normal effort. Given these buildings' educational role, working on intelligibility in museums is essential. The results show that it is necessary to reflect on the issue of acoustic comfort in museums and relevant parameters for these buildings, which will consequently be related to design issues.

Keywords: museum acoustics, speech transmission index, background noise.

1. INTRODUÇÃO

Museus são locais contemplativos. A experiência nesses espaços passa por aprendizagem, imersão e concentração, entre outras vivências sensoriais. Tratando-se de espaços fundamentais para favorecer o interesse educacional e cultural das pessoas nas mais diversas idades e realidades, o estudo das condições acústicas desses espaços é fundamental para obtenção de edificações com qualidade.

O valor histórico e arquitetônico que os museus representam para a sociedade, na qual estão inseridos, é verificado por diversas pesquisas a respeito da arquitetura, gestão, patrimônio histórico entre outros aspectos, como em Assoni, Ornstein (2020), Castillo (2008), Guimaraens (2016), Veiga (2013). Porém, essa realidade não é a mesma quando as pesquisas se voltam à caracterização acústica dessas edificações.

O bem-estar dos visitantes de museus é condição importante. O conforto acústico é item qualificador e imprescindível dentro desses ambientes, destacando que a experiência entregue aos frequentadores dos museus envolve atributos que vão além de questões formais, geométricas e estéticas (KIEFER,1998). Estudos que abordam a caracterização acústica de museus são relativamente raros, entretanto é possível encontrar trabalhos que abordam parâmetros acústicos objetivos como estudados por Josontir (2006), Garcia (2012), Gonçalves (2012) e D'Orazio (2020) e subjetivos, encontrados em Yilmazer e Ohran (2019), Yilmazer et. al. (2019), Yang e Kang (2019 e 2020) e Ohran e Yilmazer (2021).

A quantificação da reverberação é muito importante para a possibilidade de aferir a qualidade acústica dos espaços e possibilitar também a comparação com outros locais semelhantes. No Brasil há uma escassez de referenciais normativos para se trabalhar com parâmetros acústicos de salas. A NBR 12179 – *Tratamento Acústico em Recintos Fechados* (ABNT, 1992) – indica valores do tempo de reverberação (TR) ideal, relacionado ao volume e à atividade realizada no ambiente, entretanto estes índices referem-se apenas a salas de audição crítica. A NBR 10152 – *Acústica Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações* (ABNT, 2017) – apresenta referenciais de níveis de ruído residual máximo aceitáveis. A norma indica que valores adequados para museus são de nível de pressão sonora equivalente (R_{LAeq}) 40 dB e nível de pressão sonora máximo (R_{LASmax}) 45 dB, admitindo-se uma tolerância de até 5 dB para cada índice. Trata-se de um bom norteador para o desenvolvimento de projetos, pois conhecendo-se os níveis adequados ao ambiente projetado é possível trabalhar com as estratégias que atingirão os níveis recomendados. Entretanto, não há nenhuma relação com qualificador de salas e os níveis de ruído residual indicados para museus não retratam a realidade encontrada em museus brasileiros.

Dentre os parâmetros relacionados à condição da fala, a norma ISO 3382-3 – *Acoustics – measurement of room acoustic. Part 3: Open plan offices* (ISO, 2022) – abrange escritórios panorâmicos e espaços similares, onde um grande número de pessoas pode trabalhar, ter uma conversa ou concentrar-se de forma independente em estações de trabalho delimitadas. Nos escritórios de planta livre os ocupantes são afetados pelas atividades ao seu redor. Esta relação de pessoas conversando em curtas distâncias, sem direcionalidade de fonte, se aproxima das atividades de um museu, onde podem acontecer grupos de visitação na mesma sala de visitantes concentrados.

O parâmetro de inteligibilidade STI apresenta uma especificidade quando é analisado a partir da norma ISO 3382-3 (ISO, 2022), que segue a IEC 60268-16 – *Sound system equipment - Part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index* (IEC, 2020). Ele deve ser o resultado a partir do nível da fala em determinado ponto da sala, de modo que esse nível é obtido com base na diferença entre o nível da fala em esforço normal a 1 metro de distância da fonte, baseado na norma ANSI S 3.5 (ANSI, 2007). Portanto, há de se obter a potência da fonte.

O método de avaliação do STI existe desde a década de 1970 e vem sendo estudado e amplamente desenvolvido, pois trata-se de um dos métodos de predição da inteligibilidade de uma sala mais amplamente padronizados e aplicados (MORALES *et. al.*, 2018).

Steeneken e Houtgast (1980) são considerados os desenvolvedores do método de obtenção de STI, pois aprimoraram técnicas a partir de uma extensão do método de testes de articulação (*Articulation Index* – AI), criado por French and Steinberg (1947), no qual os autores estudaram as relações de inteligibilidade com a variação da intensidade da fala, alterando a intensidade normal da frequência e adicionando o ruído residual.

O esquema de obtenção do STI está representado na Figura 1. Trata-se de um parâmetro fundamentado no fato de que a reverberação e o ruído residual fazem com que a amplitude de modulação do sinal recebido por um ouvinte em uma sala seja menor que a amplitude de modulação do sinal emitido (sem ruído e reverberação). A Equação 1 apresenta a função de transferência de modulação e a Equação 2 a relação sinal-ruído final, que apresenta um resultado em dB. Uma diminuição da amplitude de modulação está associada a uma perda na inteligibilidade da fala (BRANDÃO, 2017). É por essa razão que é de extrema importância que o ruído residual e o tempo de reverberação sejam adequadamente controlados nas salas.

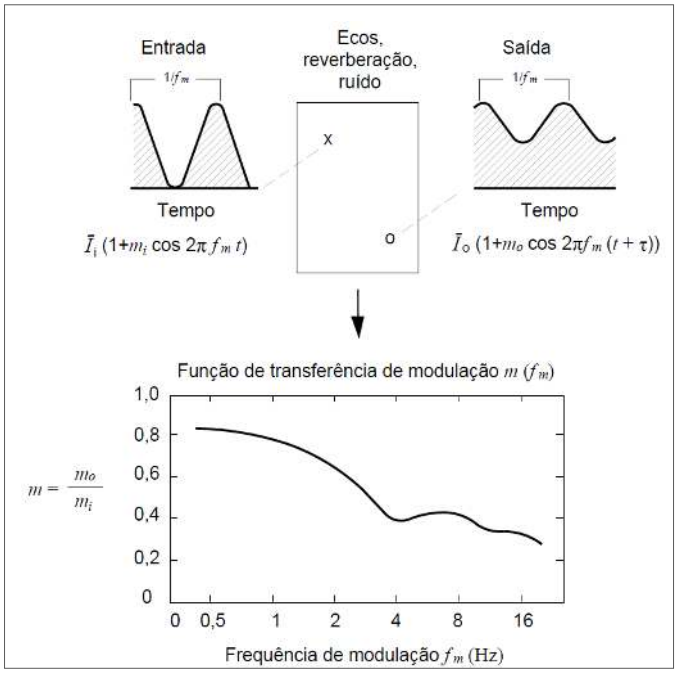


Figura 1 – Representação esquemática do STI, adaptado de IEC 60268-16 (IEC, 2020).

$$m(f_m) = \frac{m_o(f_m)}{m_i(f_m)}, \qquad \text{Equação 1}$$

$$\rho_{eff} = 10\log\left(\frac{m(f_m)}{1-m(f_m)}\right), \qquad \text{Equação 2}$$

em que m_i e m_o são os índices de modulação de entrada e de saída, respectivamente. $\overline{I}_i$ e $\overline{I}_0$ são as intensidades de saída e de entrada, sendo o valor das intensidades igual ao quadrado dos níveis de pressão sonora (p^2).

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar as condições acústicas a partir do tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial e ruído residual de uma das galerias de exposições da Pinacoteca de São Paulo. Além disso, objetiva-se analisar o a influência destes parâmetros na inteligibilidade em curtas distâncias para os visitantes, a partir da análise do STI. Os objetivos serão alcançados a partir da proposta metodológica de ensaios baseados na norma ISO 3382-3 (ISO, 2022).

3. MÉTODO

Esta seção apresenta o museu estudado, Pinacoteca do estado de São Paulo, e a metodologia das medições *in situ.*

3.1. Pinacoteca do estado de São Paulo

A Pinacoteca de São Paulo é o museu de arte mais antigo da cidade, fundado em 1905. O edifício de arquitetura neoclássica, está instalado no antigo Liceu de Artes e Ofícios, projetado no final do século XIX originalmente pelo escritório do arquiteto Ramos de Azevedo. Na década 1990, passou por uma ampla reforma, com projeto de intervenção elaborado pelo arquiteto Paulo Mendes da Rocha juntamente com os arquitetos Eduardo Colonelli e Welliton Torres. A edificação possui 10.815,00 m^2 de área, distribuída em três pavimentos.

É no segundo pavimento do museu que ocorrem as exposições permanentes (ou de longa duração), que podem permanecer vários anos em cartaz, e é onde se encontra a galeria analisada neste trabalho. A Figura 2 apresenta uma imagem do exterior do edifício.



Figura 2 – Vista externa da Pinacoteca de São Paulo.

3.2 Medições

As medições foram realizadas em quatro galerias do segundo pavimento, porém neste trabalho serão apresentados apenas os resultados da Galeria 6. A Figura 3 apresenta uma parte da planta do segundo pavimento com imagens das medições realizadas.

Os ensaios foram realizados com fonte e receptor posicionados na mesma sala. Essa configuração foi decidida devido à relação acústica dos ouvintes em um museu, em que as pessoas se comunicam em curtas distâncias e em pequenos grupos. Portanto, não foram executadas medições com pares de fonte-receptor em salas diferentes.

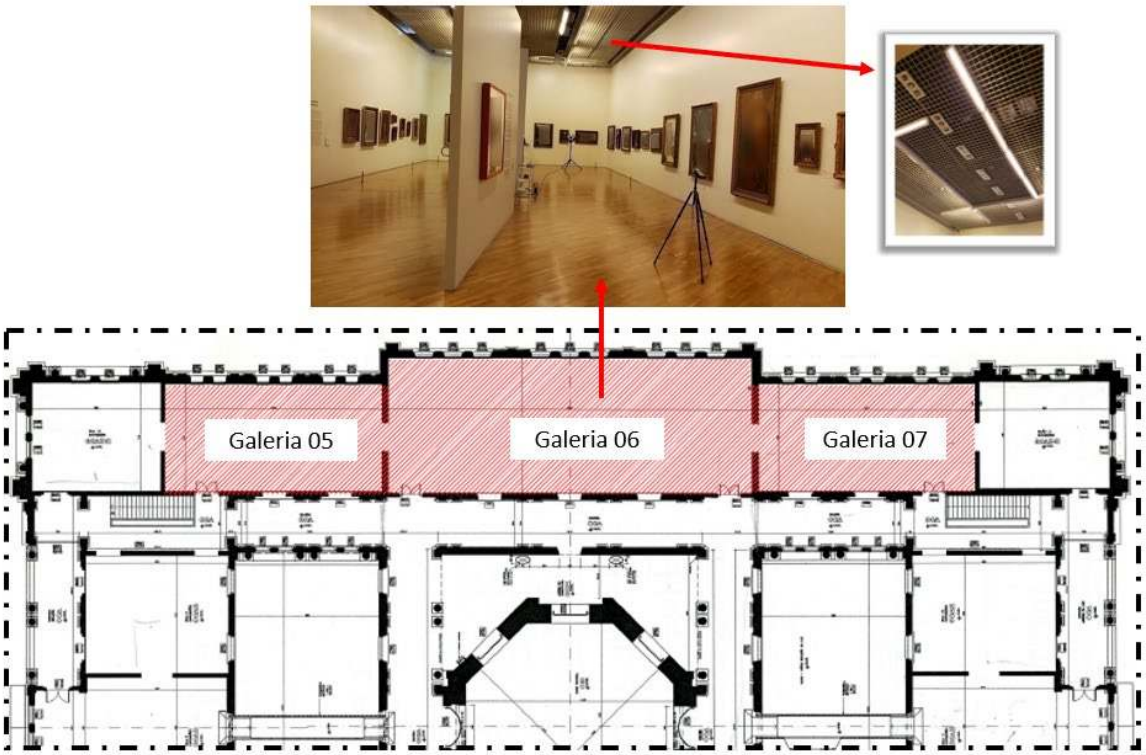


Figura 3 – Parte da planta do segundo pavimento com imagem da sala estudada (Galeria 6) e um detalhe do forro.

O volume da sala analisada é de 1.384,93 m^3. Observa-se que a Galeria 6 tem pouco mais que o dobro de dimensão das demais. Nas imagens da Figura 3 é possível observar que os materiais nas superfícies da sala são: piso em taco de madeira e paredes em alvenaria. O forro, que é possível ver no detalhe da mesma figura, é constituído por uma grelha metálica (que permite a interligação entre as salas pelo entreforro), onde está

localizado o sistema de condicionamento de ar e sua tubulação. Não foi possível dimensionar com exatidão essa área de ligação. Na área central da Galeria 6 há uma divisória em *drywall* instalada para possibilitar a instalação de telas de arte. A Figura 4 apresenta a relações fonte-receptor. F1 é a indicação da fonte e M das posições dos microfones. A fonte está localizada a 2,00 m das paredes. O microfone M1 tem 2,50 m de distância da fonte e os demais microfones estão localizados a 2,50 metros de distância entre si, sucessivamente.

A norma ISO 3382-3 (ISO, 2022) aplicada para avaliação acústica de escritórios panorâmicos foi adotada neste trabalho como padrão. Em cada posição do microfone o sinal sonoro foi emitido três vezes, registrando-se a média.

Os equipamentos utilizados originaram de uma colaboração da empresa HBK – Hottinger Brüel & Kjaer com os responsáveis por esta pesquisa. Para a pesquisa utilizou-se os equipamentos: notebook, *software* Dirac 6.0 tipo 7841, interface de áudio ZE – 0948, amplificador de potência tipo 2734, fonte sonora omnidirecional OmniPower TM tipo 4292-L, sonômetro B&K tipo 2250 Classe 1, pré-amplificador ZC-0032, microfone tipo 4189, termo-higrômetro Instruterm e trena eletrônica Starrett.

A resposta impulsiva foi obtida a partir do sinal *sweep* exponencial (22,4 Hz – 22,4 kHz, padrão Dirac 6.0) e o sistema foi calibrado na câmara reverberante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). O espaço ensaiado tem volume de 217 m³ e foi utilizada a ferramenta *system calibration* do Dirac para a calibração do sistema.

Todo o procedimento de ensaio seguiu as recomendações da norma ISO 3741 – *Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure. Precision methods for reverberation test rooms* (ISO, 2010).

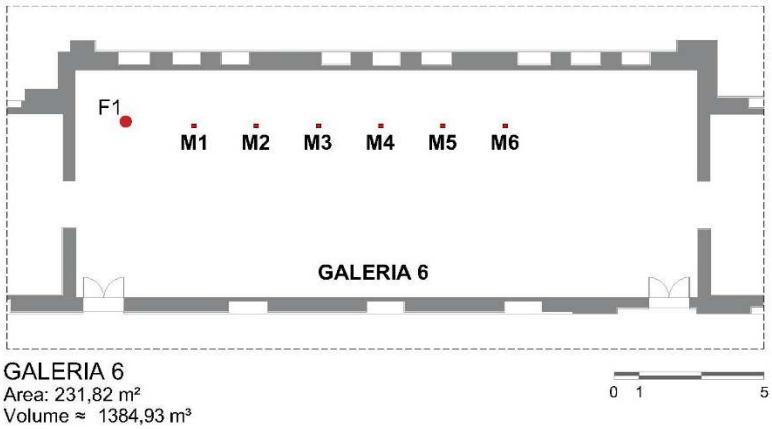


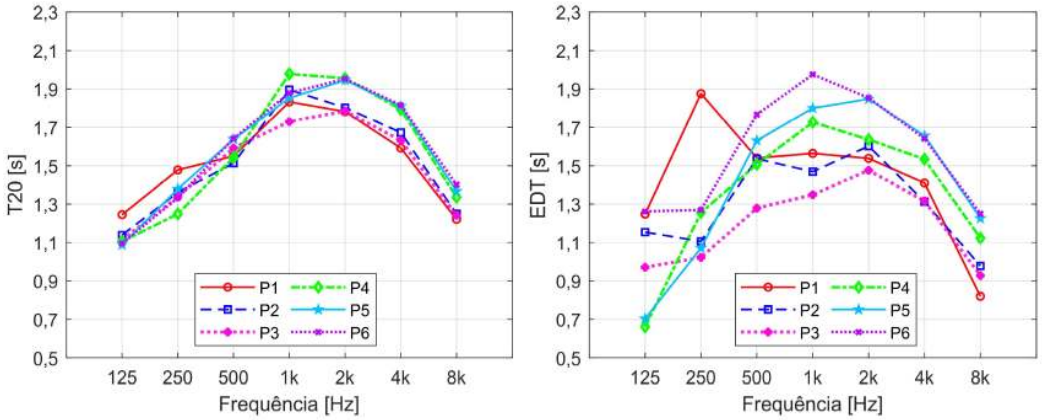
Figura 4 – Esquema de medições: relação fonte-receptor na sala.

Diversos parâmetros objetivos são extraídos de resposta impulsiva. Os parâmetros de decaimento como tempo de reverberação (T_{20}, extraído entre 5 dB e -25 dB, multiplicado por 3) e tempo de decaimento inicial (EDT, extraído do tempo inicial entre 0 dB e -10 dB, multiplicado por 6), são obtidos em segundos (BRANDÃO, 2016). O EDT tem maior relação com a percepção de reverberação e tende a sofrer maior variação ao conforme a posição do microfone de recepção.

O parâmetro STI foi obtido conforme indicações da norma ISO 3382-3 (ISO, 2022), que segue as recomendações da norma IEC 60268-16 (IEC, 2020), específica para obtenção do STI. Foi utilizado o sinal com nível da fala em esforço normal, fonte omnidirecional. Essa relação é um diferencial já que o nível do sinal tem menor relação sinal-ruído (SNR), que neste trabalho é denominada SSNR (do inglês *speech signal-to-noise ratio*), o que influencia fortemente o resultado, devido à influência do ruído residual nesse parâmetro. Primeiramente foi obtido o STI com o ruído residual médio registrado na sala ($L_{p,A,B}$ 62 dB). Por conseguinte, foi realizada uma simulação dos resultados de STI com ruído residual R_{LASmax} 45 dB, ou seja, valor máximo permitido na NBR 10152 (ABNT, 2017). Portanto, foi utilizada ferramenta em propriedades do sinal do *software* Dirac, a qual é possível simular outros resultados de STI a partir do mesmo sinal, modificando o ruído residual e também utilizando outros valores de nível da fala. Também será apresentado o resultado de $L_{,p,A,S}$, que é o SPL registrado em cada microfone, conforme indicações da norma, que apresenta o valor de 57,4 dB na posição com 1 metro de distância da fonte. Esse parâmetro mostra o decaimento espacial do som conforme se distancia da fonte. Finalmente, será apresentado o resultado de $L_{p,A,B}$, que é o ruído residual médio da sala.

4. RESULTADOS

Esta seção apresenta e discute os resultados da pesquisa para a Galeria 6 da Pinacoteca do estado de São Paulo. Inicia-se com a apresentação do tempo de reverberação (T_{20}) e tempo de decaimento inicial (EDT), conforme os gráficos da Figura 5.



(a) Tempo de reverberação (b) Tempo de decaimento inicial

Figura 5 – Tempo de Reverberação (a) e tempo de decaimento inicial (b).

Observa-se, na Figura 5, que os dois gráficos apresentam perfis de curva semelhante entre as medições para cada ponto, embora EDT tenha resultados mais dispersos. Especialmente em 250 Hz, há uma disparidade em P1. Nos resultados de TR (Figura 5a), esta alteração é observada de forma sutil, de modo que é em EDT (Figura 5b) que a diferença para essa frequência se mostra consideravelmente acentuada. O EDT tem por característica ser um parâmetro com maior tendência ao erro, por se tratar da faixa inicial do decaimento (0 – 10 dB). Em baixas frequências essa diferença se pronuncia, visto que as primeiras reflexões são mais erráticas nessa faixa, conforme comentado por Brandão (2017). É conveniente ter cautela ao se analisar EDT em baixas frequências, pois a dispersão também pode ser uma imprecisão da fonte sonora, que, influenciada por suas próprias dimensões, não responde com grande precisão baixas frequências, principalmente ao se analisar as primeiras reflexões. As medições foram realizadas com fonte omnidirecional dodecaédrica, sem o recurso de um *subwoofer*. Além disso, o nível de ruído residual, proveniente do sistema de ar condicionado prejudica a SNR da medição, especialmente em baixas frequências.

Diferentemente, o T_{20}, aborda a taxa de decaimento entre -5 e -25 dB. Esta diferença na faixa de análise proporciona resultados mais dispersos em EDT do que em T_{20}. Entretanto, ainda assim é possível observar uma tendência com valores maiores nas frequências de 1 kHz a 2 kHz. A média do T_{20} na Galeria 6 entre as frequências de 500 Hz a 2 kHz, faixa importante para a fala, é de 1,78 segundos. Trata-se de um valor alto se for considerado que a norma NBR 12179 (ABNT, 1992) apresenta valor semelhante como referência de TR ótimo para igrejas, visto que são ambientes com execução musical e tradicionalmente com o tempo alongado. A análise do EDT mostra que a sensação de reverberação é percebida pelos ouvintes. A norma internacional AS/NZS 2107 (AS/NZS, 2016) recomenda valor máximo de 1 segundo para salas destinadas à fala com volume semelhante.

4.1 Resultados relacionados à norma ISO 3382-3:2022

Esta seção apresenta os resultados de $L_{,p,A,B}$, $L_{,p,A,S}$, STI e SSNR. O gráfico da Figura 6 apresenta os valores de $L_{,p,A,S}$ em cada posição do microfone e o resultado do residual da sala. É possível observar que os valores do sinal da fala estão abaixo do ruído residual, em que $L_{,p,A,B}$ é 62 dB. Isso significa que o ruído residual é mais intenso que o valor observado em norma, de uma pessoa falando em esforço normal, que é 57,4 dB (1 metro da fonte). Em consequência, a Figura 7 apresenta os resultados de STI (gráfico a), ruído residual atual registrado $L_{,p,A,B}$ 62 (gráfico b) e a simulação do ruído residual com o valor máximo permitido na norma NBR 10152 (ABNT, 2017), que usa o termo R_{LASmax} 45 (gráfico c), entretanto, com a finalidade de padronização, no gráfico foi adotado como $L_{,p,A,B}$.

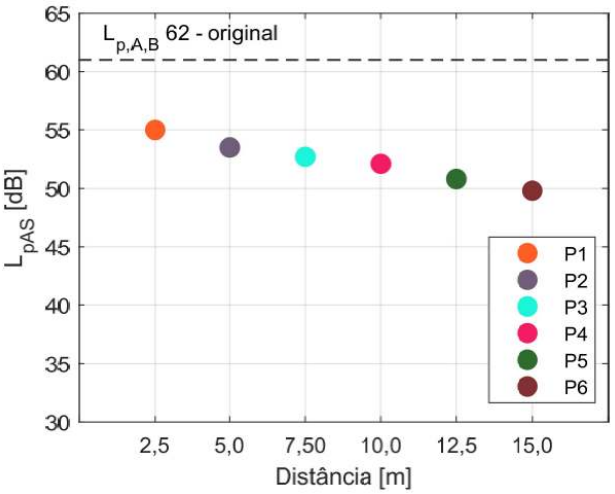
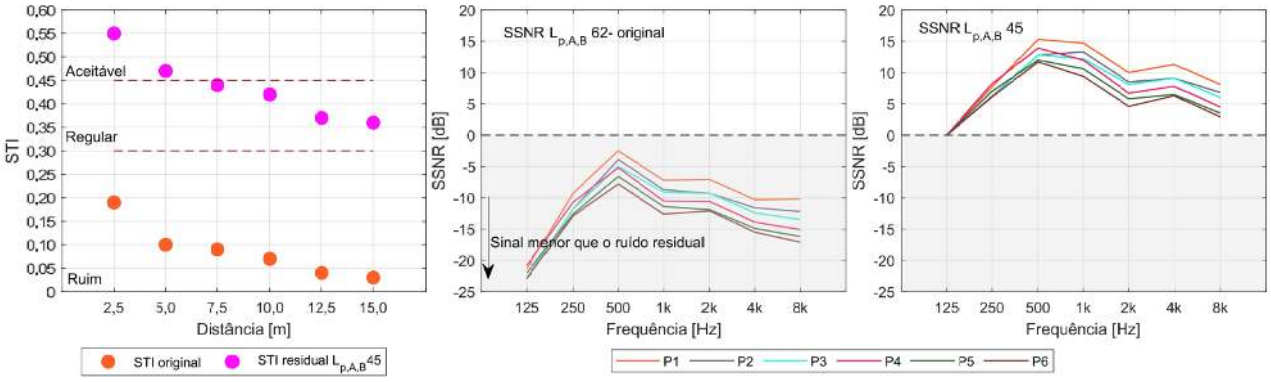


Figura 6 – $L_{,p,A,S}$ e $L_{,p,A,B}$ registrado na Galeria 6.



(a) STI (b) SSNR $L_{,p,A,B}$ 62 (original) (c) SSNR $L_{,p,A,B}$ 45

Figura 7 – STI original e com $L_{Aeq\,45}$ (12a), SSNR original.

O gráfico (a) da Figura 7 mostra o quanto o ruído residual influencia no STI, visto que os valores oriundos de ruído residual $L_{,p,A,B}$ 62 apresentam resultado máximo de STI = 0,20, no microfone com 2,5 metros de distância da fonte. Levando em consideração a comunicação em curtas distâncias, desejada em museus, como por exemplo duas pessoas discutindo sobre a obra ou profissionais guiando grupos, este valor é insuficiente mesmo para comunicações em curtas distâncias, classificado como "Ruim" pela norma IEC 60268-16 (IEC, 2020). O gráfico (b) da Figura 7 mostra o SSNR para todos os pontos medidos na sala, revelando todas as situações abaixo do ruído residual. Com a simulação de SSNR com o $L_{,p,A,B}$ 45, máximo ruído residual permitido na NBR 10152 (ABNT, 2017) para museus, é possível observar que os resultados de STI apresentam uma significativa melhora. A posição na distância de 2,5 metros apresenta resultado para STI de 0,55, classificado como "Aceitável". É importante destacar que a Tabela G.1 da norma IEC 60268-16 (IEC, 2020) mostra que mensagens complexas com palavras familiares começam a ter boa compreensão a partir de STI = 0,62. O gráfico (c) da Figura 7 mostra que na situação de $L_{,p,A,B}$ 45 todos os SSNR se mostraram acima do ruído residual.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou os resultados de tempo de reverberação, tempo de decaimento inicial, STI e a relação sinal ruído numa galeria da Pinacoteca de São Paulo. Os resultados de STI foram comparados com a situação atual, com ruído residual de $L_{,p,A,B}$ 62 e a situação de $L_{,p,A,B}$ 45, que é o máximo permitido pela norma NBR 10152 (ANT, 2017) para museus.

As análises do T_{20} e do EDT mostram que os valores encontrados na Galeria 6 da Pinacoteca é significativamente alto e que a reverberação é percebida pelos frequentadores. Os materiais de acabamento encontrados em museus não colaboram com a absorção do som, justificando o alto valor encontrado.

Os resultados de STI mostram que o ruído residual atual é excessivamente alto e em desacordo com a recomendação nacional, impactando em baixíssima inteligibilidade mesmo a curtas distâncias. Em consequência, se observa que frequentadores que farão a visitação acompanhado de guias para explicação das obras terão o entendimento comprometido. Os resultados de STI com $L_{,p,A,B}$ 45 mostraram mudança significativa, resultando na posição com 2,5 metros de distância da fonte um resultado classificado como "Aceitável". Importante também se considerar que espaços com melhor inteligibilidade são mais acessíveis para pessoas com deficiência visual.

Os resultados destacam a importância de se levar em consideração o conforto acústico em projetos de museus, visto que a qualidade acústica apresentada é pobre em virtude do alto ruído residual e também da alta reverberação. Mesmo levando-se em consideração que o ruído residual tem maior impacto na degradação da modulação do sinal do STI do que a reverberação, é importante destacar que a melhor situação de $L_{p,A,B}$ ainda mostrou um STI abaixo do considerado – bom – para a recepção de mensagens complexas com palavras familiares. A partir deste ponto é importante se levar em consideração que o controle da reverberação é item tão importante quanto o controle do ruído residual e que ambos em conformidade entregarão espaços com qualidade acústica e conforto aos frequentadores. Além da inteligibilidade da palavra, essencial para espaços em que o aprendizado é um dos objetivos, como os museus.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANSI S 3.5-1997 (R 2007), *Methods for the calculation of the speech intelligibility index.*

AS/NZS 2107:2016 - *Acoustics - Recommended Design Sound Levels and Reverberation Times for Building Interiors.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Acústica – Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 2017.

_____ . NBR 12179: Tratamento Acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992

ASSONI, Aline D.; ORNSTEIN, Sheila W. Museus interativos sob a ótica dos usuários: Avaliação Pós-Ocupação aplicada no caso do Museu Catavento, SP. Cadernos PROARQ, n. 33, p. 111-132, 2019.

BRANDÃO, E. Acústica de Salas: projeto e modelagem. 1. ed. Editora Blucher, São Paulo (Brasil) 2016.

CASTILLO, Sonia S., d. Cenário da arquitetura da arte: montagens e espaços de exposições. São Paulo: Martins, 2008.

GARCIA, L. M. M. A ACÚSTICA DE MUSEUS TRADICIONAIS: **Estudo de Caso, O Museu Nacional Soares dos Reis.** Porto, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Porto, PT, 2012.

GONÇALVES, H. J. S. **A ACÚSTICA DE MUSEUS MODERNOS: Estudo de caso, O Museu de Serralves.** Porto, 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade do Porto, Porto, PT, 2012.

GUIMARAENS, Cêça et al. Museografia e arquitetura de museus. Rio de Janeiro: Proarq, 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 3741, Acoustics – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Precision methods for reverberation test rooms (2010)

_____ . 3382-1:2009, Acoustic measurement of room acoustic parameter part 1: Performance spaces (2009).

_____ . 3382-3:2022, Acoustics - measurement of room acoustic. part 3: Open plan offices (2022).

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60268-16:2020, Sound system equipment - part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index (2020)

JÓNSDÓTTIR, G. **Museum Acoustics.** Dissertação (Mestrado), Universidade Técnica da Dinamarca. Lyngby, 2006.

KIEFER, Flavio. MAM Museu de Arte Moderna do Rio de Janeiro MASP Museu de Arte de São Paulo: paradigmas brasileiros na arquitetura de museus. 1998.

MORALES, Lorenzo et al. A revised speech spectrum for STI calculations. Applied Acoustics, v. 132, p. 33-42, 2018.

STEENEKEN, H. J. M., HOUTGAST, T. A physical method for measuring speech-transmission quality. v.67, n.318, 1980. The Journal of Acoustical Sociey of America. Disponível em: https://doi.org/10.1121/1.384464. Acesso em 03-04-2023.

VEIGA, Ana Cecília Rocha. Gestão de projetos de museus e exposições. Belo Horizonte: C/Arte, p. 978-8576541622, 2013.

YANG, Tingting; KANG, Jian. Correlations between sound level and loudness, intimacy, reverberation, clarity, spaciousness in sequential spaces. In: Proceedings of the International Congress on Acoustics. International Congress on Acoustics, 2019. p. 4158-4163.

YILMAZER, Semiha; ORHAN, Cemre. Auditory Environment in the Museums: The Case of Erimtan Archaeology and Arts Museum. In: **INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings**. Institute of Noise Control Engineering, 2019. p. 2310-2317.

YILMAZER, Semiha; YILMAZER, Cengiz; ACUN, Volkan. A comparative study on prediction of the indoor soundscape in museums via machine learning. In: INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings. Institute of Noise Control Engineering, 2019. p. 6807-6817.

YANG, Tingting; KANG, Jian. Subjective evaluation of sequential spaces. **Applied Acoustics**, v. 161, p. 107139, 2020.

ORHAN, Cemre; YILMAZER, Semiha. Harmony of context and the built environment: Soundscapes in museum environments via GT. **Applied Acoustics**, v. 173, p. 107709, 2021.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem os profissionais Fernando Diaz e Denison de Oliveira from *HBK – Hottinger Brüel & Kjaer* pela generosa colaboração nos testes, empréstimo dos equipamentos e permissão para uso do *software* Dirac 6.0.

Os autores também agradecem o profissional Marcelo de Mello Aquilino pela gentil permissão de uso da câmara reverberante do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Os autores também agradecem o desenvolvedor do *software* Dirac 6.0 Han Vetergaal, pela incansável colaboração nos questionamentos a respeito da aplicação e análise dos dados no software.

Para finalizar agradecem aos profissionais do setor de engenharia e arquitetura da Pinacoteca do Estado de São Paulo, Eric Braga Lester, Flávio Pires, e Julia Martinelli, que gentilmente permitiram os ensaios nas dependências do museu.