XVIII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
XIV ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO
AMBIENTE CONSTRUÍDO E USUÁRIO: PERSPECTIVAS LATINO-AMERICANAS

Ferramenta de auxílio no desenvolvimento de projeto acústico segundo os parâmetros da ISO 23591 (2021)

Herramienta de apoyo para el desarrollo de proyectos acústicos según los parámetros de la ISO 23591 (2021)

Support tool for the development of acoustic projects according to the parameters of ISO 23591 (2021)

Acústica arquitetônica e urbana/ Acústica arquitectónica y urbana */ Architectural and urban acoustics*

Melo, Maria Eduarda Medeiros de

Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, mariaeduardamedeiros24@gmail.com

Araújo, Bianca Carla Dantas de

Prof. Dra. Arquiteta e Urbanista, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, dantasbianca@gmail.com

Resumo

Este artigo apresenta uma ferramenta de auxílio ao dimensionamento de salas de ensaio musical, alinhada aos parâmetros da norma ISO 23591 (2021). O objetivo é facilitar o projeto acústico de espaços musicais, garantindo qualidade sonora e conforto aos usuários. A metodologia envolveu a criação de uma planilha eletrônica que calcula automaticamente dimensões, proporções e tempos de reverberação, com base nos critérios da norma. A ferramenta foi aplicada a um estudo de caso de uma sala de estudo individual, demonstrando eficácia na otimização do projeto e na redução de erros. Os resultados mostram que a ferramenta contribui para a disseminação da norma, promovendo espaços adequados à prática musical com eficiência acústica e econômica. A ferramenta ainda está em fase de testes, mas já se mostra promissora para auxiliar arquitetos e engenheiros na concepção de ambientes acusticamente adequados.

Palavras-chave: ISO 23591. Salas de ensaio musical. Projeto acústico. Tempo de reverberação. Ferramenta de projeto.

Resumen

Este artículo presenta una herramienta de apoyo para el dimensionamiento de salas de ensayo musical, alineada con los parámetros de la norma ISO 23591 (2021). El objetivo es facilitar el diseño acústico de espacios musicales, garantizando calidad sonora y confort para los usuarios. La metodología involucró la creación de una hoja de cálculo electrónica que calcula automáticamente dimensiones, proporciones y tiempos de reverberación, basándose en los criterios de la norma. La herramienta fue aplicada a un estudio de caso de una sala de estudio individual, demostrando eficacia en la optimización del diseño y en la reducción de errores. Los resultados muestran que la herramienta contribuye a la difusión de la norma, promoviendo espacios adecuados para la práctica musical con eficiencia acústica y económica. La herramienta aún está en fase de pruebas, pero ya se muestra prometedora para asistir a arquitectos e ingenieros en la concepción de ambientes acústicamente adecuados.

Palabras clave: ISO 23591. Salas de ensayo musical. Dimensionamiento acústico. Tiempo de reverberación. Herramienta de diseño.

Abstract

This article presents a support tool for the design of music rehearsal rooms, aligned with the parameters of the ISO 23591 (2021) standard. The objective is to facilitate the acoustic design of musical spaces, ensuring sound quality and user comfort. The methodology involved the creation of an electronic spreadsheet that automatically calculates dimensions, proportions, and reverberation times based on the standard's criteria. The tool was applied to a case study of an individual study room, demonstrating effectiveness in optimizing the design and reducing errors. The results show that the tool contributes to the dissemination of the standard, promoting spaces suitable for musical practice with acoustic and economic efficiency. The tool is still in the testing phase but already shows promise for assisting architects and engineers in designing acoustically suitable environments.

Keywords: ISO 23591. Music rehearsal rooms. Acoustic design. Reverberation time. Design tool.

1. Introdução

Desde os tempos remotos, a música integra as civilizações, trazendo benefícios como o fortalecimento da memória, o estímulo à criatividade e a redução do estresse. Estudos neurocientíficos recentes destacam ainda sua capacidade de ativar múltiplas áreas cerebrais, promovendo não apenas processamento auditivo, mas também integração motora, cognitiva e emocional (Rocha; Boggio, 2013). Nesse contexto, o tratamento acústico evidencia-se como elemento essencial para a experiência musical, influenciando tanto a performance dos músicos (espaços com retorno acústico eficiente permitem maior controle dinâmico e afinação) quanto a percepção sonora dos ouvintes, com impactos diretos na imersão emocional e na clareza da comunicação artística (Beranek 2004). No entanto, a qualidade acústica dos espaços destinados à prática musical nem sempre recebe a devida atenção, comprometendo o conforto e a eficiência desses ambientes (Sá, 2010).

As preocupações acústicas, tradicionalmente associadas a teatros e salas de concerto, são igualmente fundamentais em espaços de ensino e ensaio, de forma a garantir condições adequadas para o aprendizado e a expressão musical. Desde a concepção até a finalização da obra, as condições sonoras influenciam diretamente a funcionalidade dos ambientes (Maiorino; Rocha, 2023). Além disso, a crescente demanda por eficiência espacial exige que projetos arquitetônicos equilibrem versatilidade e especificidade acústica, uma vez que soluções genéricas podem gerar interferências prejudiciais à inteligibilidade sonora. Salas originalmente projetadas para oratória, por exemplo, muitas vezes são adaptadas para práticas musicais sem considerar as exigências técnicas distintas, o que compromete tanto a qualidade sonora quanto a integridade das performances (Lima; Vergara, 2018).

Para suprir essa necessidade, a norma ISO 23591, introduzida em 2021, estabelece diretrizes para a qualidade acústica de salas de ensaio, auxiliando arquitetos, engenheiros e consultores acústicos. Seus parâmetros consideram variáveis como o tipo de música praticada e o número de ocupantes. Além disso, com foco no conforto dos músicos, no isolamento acústico e na preservação da saúde auditiva, a norma alinha-se com trabalhos que associam a exposição a ambientes mal tratados acusticamente a riscos como perda auditiva (Costa, 2005).

A norma preenche uma lacuna normativa e reforça a importância do tratamento acústico desde a concepção dos projetos. Dessa forma, o objetivo deste artigo é apresentar uma ferramenta de auxílio de projeto desenvolvida para o Trabalho Final de Graduação (TFG) de

Melo (2024), que auxilia no dimensionamento adequado de salas de ensaio de música, levando em consideração os parâmetros estabelecidos pela norma ISO 23591 (2021).

2. Método

O objeto de estudo deste artigo é a relação dos parâmetros acústicos da ISO 23591 (2021) e o projeto de arquitetura. Dessa forma, nessa seção serão abordados os principais aspectos da norma, assim como a ferramenta utilizada.

2.1 ISO 23591 (2021)

No intuito de aprimorar a qualidade acústica dos ambientes destinados à prática musical, a norma classifica os grupos musicais em três categorias:

1. Acústicos de baixo volume sonoro - atingem até 95 dB em passagens *forte* - como instrumentos de sopro de madeira, cordas e voz humana;

2. Acústicos de alto volume sonoro - atingem e ultrapassam 95 dB em passagens *forte* - incluindo os instrumentos de sopro de metal, percussão, piano e canto operático;

3. Grupos que utilizam amplificação eletroacústica, cuja transmissão sonora depende de sistemas de reforço sonoro.

Para atender às especificidades de cada grupo musical, a norma estabelece parâmetros arquitetônicos objetivos, como altura, área e volume livres das salas. Esses critérios são definidos com base na quantidade de usuários, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1: Tabela de propriedades para salas de ensaio para música de acústica baixa

Propriedade	Sala de prática individual	Sala para pequenos conjuntos	Sala para médios conjuntos	Sala para grandes conjuntos
Número de músicos/cantores (N) Tipo de conjunto	1 a 2	3 a 12	13 a 30	20 a 35 (orquestras de cordas) 30 a 80/100 (coros)
Volume livre	≥ 35m³	>25 × N m³	>25 × N m³	>25 × N m³
Área livre	$\geq 13m^{2\,a}$	≥ 20m² a 40m² (rel. ao número de músicos/cantores)	≥ 40m² a 70m² (rel. ao número de músicos/cantores)	≥ 50m ² + 1,5 × N m²

Altura livre (h)	≥ 2,7m	≥ 3,5m	≥ 4,5m	≥ 5m
Legenda [a] Inclui ensino para uma ou duas pessoas.				

Fonte: ISO 23591 (2021, p.10), traduzido e editado pelas autoras.

De acordo com Silva (2005), o tempo de reverberação é o principal fator determinante da qualidade acústica de um ambiente. A norma estabelece um modelo matemático para o cálculo desse parâmetro, considerando o volume da sala e o tipo de música praticado. O tempo de reverberação (Tmid) é definido como a média dos valores nas bandas de oitava de 500 Hz e 1.000 Hz, sendo calculado por meio da Equação 01, na qual a e b são constantes, expressas nas Tabela 2, e V é o volume livre.

$$Tmid = a \times \lg(V) - b\ (s) \qquad (01)$$

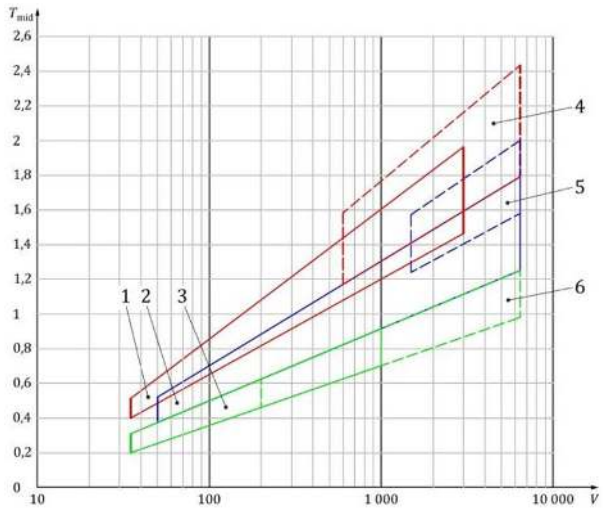
Tabela 2: Valores para constantes na Equação 01 relacionadas ao tempo de reverberação em função do volume livre

Salas de ensaio	a	b	Volume mínimo V m³	Volume máximo V m³
Música amplificada (limite inferior)	0,325	0,335	35	1 000
Música amplificada (limite superior)	0,415	0,335	35	1 000
Música acústica alta (limite inferior)	0,415	0,335	50	6 500
Música acústica alta (limite superior)	0,600	0,500	50	6 500
Música acústica baixa (limite inferior)	0,550	0,450	35	3 000
Música acústica baixa (limite superior)	0,750	0,650	35	3 000
Uso para ensaio em salas de recital				
Música amplificada (limite inferior)	0,345	0,335	200	6 500
Música amplificada (limite superior)	0,415	0,335	200	6 500
Música acústica alta (limite inferior)	0,525	0,425	1 500	6 500
Música acústica alta (limite superior)	0,675	0,575	1 500	6 500
Música acústica baixa (limite inferior)	0,600	0,500	600	6 500
Música acústica baixa (limite superior)	0,830	0,730	600	6 500

Fonte: ISO 23591 (2021, p.16), traduzido e editado pelas autoras.

O gráfico que ilustra a fórmula está representado na Figura 1.

Figura 1: Tempo de reverberação Tmid relativo ao volume livre V, para diferentes tipos de música



V Volume, expresso em metros cúbicos (m^3)
Tmid Tempo de reverberação médio (médias frequências), expresso em segundos
1 Limites superior e inferior para música acústica suave em salas de ensaio (linhas contínuas)
2 Limites superior e inferior para música acústica intensa em salas de ensaio (linhas contínuas)
3 Limites superior e inferior para música amplificada em salas de ensaio (linhas contínuas)
4 Limites superior e inferior para música acústica suave no uso como sala de ensaio em salas de recital (linhas tracejadas)
5 Limites superior e inferior para música acústica intensa no uso como sala de ensaio em salas de recital (linhas tracejadas)
6 Limites superior e inferior para música amplificada no uso como sala de ensaio em salas de recital (linhas tracejadas)

Observação:
Linhas contínuas aplicam-se a salas de ensaio padrão.
Linhas tracejadas aplicam-se ao uso como sala de ensaio em salas de recital.

Fonte: ISO 23591 (2021, p.15), traduzido e editado pelas autoras.

2.2 Construção da planilha

A ISO 23591 (2021) enfatiza a relevância de um planejamento prévio dos usos e das dimensões das salas antes da elaboração do projeto, diferentemente da prática de definir a planta baixa de forma preliminar e posteriormente atribuir funções aos espaços. Essa abordagem promove uma distribuição mais eficiente e funcional dos ambientes, garantindo que as necessidades específicas de cada área sejam atendidas de maneira adequada desde a concepção inicial do projeto.

Para auxiliar no dimensionamento de salas de até 300 m^3, foi desenvolvida uma tabela no Google Spreadsheets. Em um primeiro momento, todos os requisitos relacionados ao dimensionamento das salas foram inseridos em uma aba, como mostra a Tabela 3:

Tabela 3: Requisitos da norma 23591 (2021) relacionados ao dimensionamento das salas

Requisitos										
Acústica	Tamanho	Volume min./pessoa	Min volume Rev	Max volume Rev	Volume livre min.	Altura livre	a inferior	b inferior	a superior	b superior
Baixa	Individual	35	35	3000	13	2,7	0,55	0,45	0,75	0,65
Baixa	Pequena	25	35	3000	40	3,5	0,55	0,45	0,75	0,65
Baixa	Média	25	35	3000	70	4,5	0,55	0,45	0,75	0,65
Baixa	Grande	25	35	3000	102,5	5	0,55	0,45	0,75	0,65
Alta	Individual	50	50	6500	15	3	0,42	0,34	0,60	0,50
Alta	Pequena	30	50	6500	0	3,5	0,42	0,34	0,60	0,50
Alta	Média	30	50	6500	0	4,5	0,42	0,34	0,60	0,50
Alta	Grande	50	50	6500	180	5	0,42	0,34	0,60	0,50
Amplificada	Individual	35	35	1000	13	2,7	0,33	0,34	0,42	0,34
Amplificada	Pequena	60	35	1000	20	3	0,33	0,34	0,42	0,34
Amplificada	Média	200	35	1000	60	3,5	0,33	0,34	0,42	0,34
Amplificada	Grande	400	35	1000	100	4	0,33	0,34	0,42	0,34

Fonte: Autoras (2024).

Uma limitação que impacta o dimensionamento de salas de ensaio é a interferência dos modos acústicos, que podem comprometer a qualidade sonora do ambiente. Para mitigar esses efeitos, a norma recomenda a adoção de proporções adequadas entre as dimensões da sala, assegurando uma resposta de transferência uniforme na faixa de 20 Hz a 200 Hz. Diante desse desafio, a ISO 23591 (2021) apresenta duas abordagens possíveis: a utilização de proporções fixas entre as dimensões ou a aplicação de uma gama de proporções dimensionais quase ideais, que oferecem maior flexibilidade em comparação com o uso exclusivo de proporções fixas. Para facilitar essa escolha, a norma fornece uma fórmula (Equação 02) que permite calcular uma das três dimensões com base nos outros dois parâmetros previamente definidos, otimizando o processo de dimensionamento.

$$l/h = 2{,}36\, x\, \frac{w}{h} - 1{,}38 \qquad (02)$$

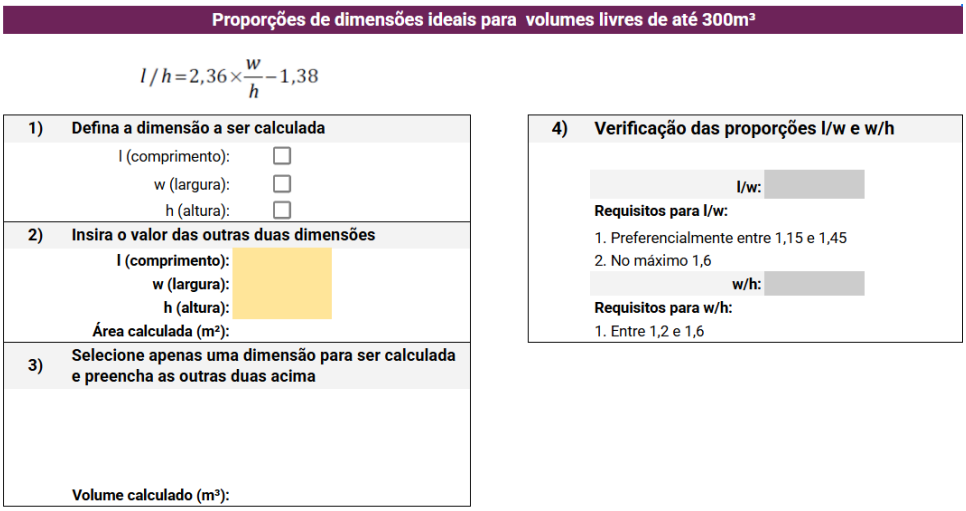
Onde l é o comprimento, w é a largura e h é a altura.

Além disso, outras recomendações são dadas em relação às proporções entre as dimensões, de forma que:

- A relação entre comprimento e largura (l/w) deve preferencialmente situar-se no intervalo 1,15 < (l/w) < 1,45;
- A relação l/w não deve exceder 1,6;
- A relação w/h está limitada ao intervalo de 1,2 a 1,6.

Dessa forma, criou-se uma segunda aba para auxiliar nas definições das dimensões do ambiente. Nessa aba é possível conferir os dois aspectos apresentados (dimensões e proporções entre as dimensões), como mostra a Figura 2.

Figura 2: Verificação das dimensões e proporções ideais para volumes livres de até 300m³



Fonte: Autoras (2024).

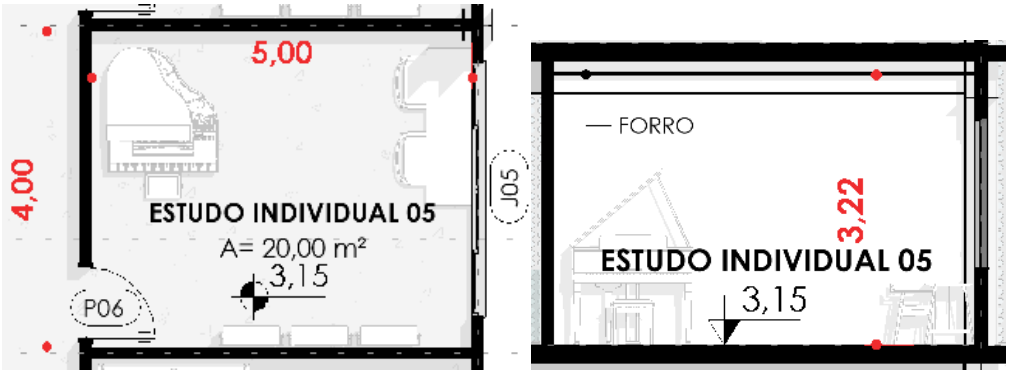
O terceiro passo consiste em verificar se as dimensões estabelecidas atendem aos critérios de área, volume e pé direito definidos pela norma para cada categoria musical (baixa, alta e amplificada). Nesta seção, são inseridos dados como a capacidade máxima de usuários da sala, o tipo de acústica a ser atendida, a classificação do tamanho da sala (individual, pequena, média ou grande) e os parâmetros previamente calculados, como volume, área, altura, comprimento e largura. Dessa forma, a planilha consegue conferir, por meio dos requisitos inseridos no primeiro passo, se os critérios de volume, área e altura estão sendo atendidos, assim como calcular o Tmid mínimo, médio e máximo.

Após determinar o valor médio do tempo de reverberação para a faixa de 500 a 1000 Hz, a norma ressalta a necessidade de calcular e ajustar os tempos de reverberação nas bandas de oitava entre 63 Hz e 4000 Hz. Essa etapa estabelece uma relação percentual entre o tempo de reverberação em cada frequência e o tempo médio de reverberação na faixa de frequências médias (Tmid). Por fim, em uma nova aba, insere-se o valor médio do Tmid, permitindo a visualização gráfica dos limites inferiores e superiores do tempo de reverberação, conforme o tipo de música e a frequência analisada.

3. RESULTADOS

Como resultado utilizou-se como exemplo um ambiente projetado com o auxílio da ferramenta na dissertação de Melo (2024). A sala de estudo individual (Figuras 3 e 4) foi projetada para acomodar até duas pessoas e conta com um espaço de 20,00 m² que comporta uma mesa, um sofá, estantes e em alguns casos um piano.

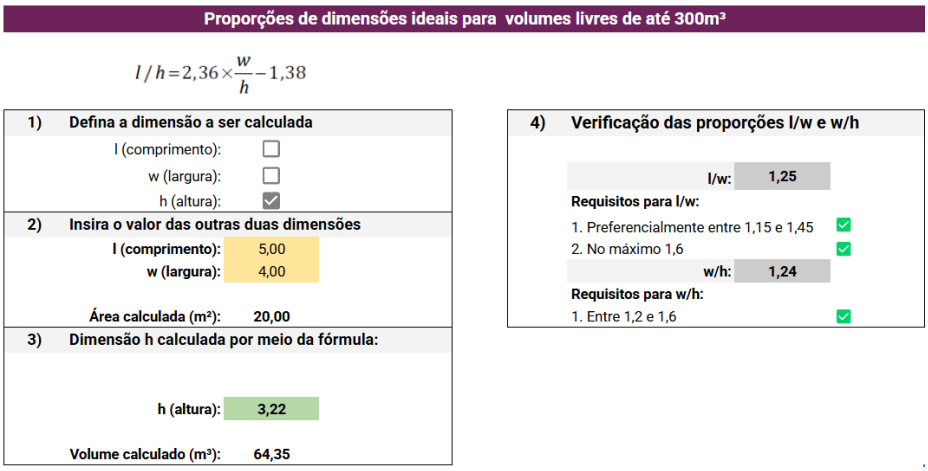
Figuras 3 e 4: Sala de estudo individual - planta baixa e corte, respectivamente



Fonte: Melo (2024).

O dimensionamento da sala envolveu um processo de tentativa e erro devido às restrições espaciais da edificação. Uma das duas dimensões bidimensionais precisou ser fixada, e um limite máximo foi estabelecido para o pé direito, visando evitar interferências significativas na volumetria do edifício. Diante dessas limitações, diversas combinações de dimensões foram testadas até que se alcançasse a configuração ideal, atendendo aos critérios estabelecidos (Melo, 2024). Os valores dimensionados para a configuração final estão expressos na Figura 5.

Figura 5: Verificação das dimensões e proporções ideais para a sala de estudo individual



Fonte: Autoras (2024).

Posteriormente foram preenchidos os parâmetros na segunda aba da tabela, como mostra a Tabela 4. Nesse caso, a intenção era que a sala pudesse atender aos três tipos de música. (Melo, 2024).

Tabela 4: Inserção dos parâmetros da sala de estudo individual previamente calculados

	Parâmetros das salas								
ID	Nome da sala	Qt. Máx. Usuários	Acústica	Tamanho	Volume (m³)	Área (m²)	Altura (m)	Comprimento (m)	Largura (m)
A	Sala individual	2	Baixa	Individual	64,35	20,00	3,22	5,00	4,00
B	Sala individual	2	Alta	Individual	64,35	20,00	3,22	5,00	4,00
C	Sala individual	2	Amplificada	Individual	64,35	20,00	3,22	5,00	4,00

Fonte: Autoras (2024).

Então, de forma automática, é possível conferir se os valores estão dentro dos parâmetros necessários, como mostra a Tabela 5:

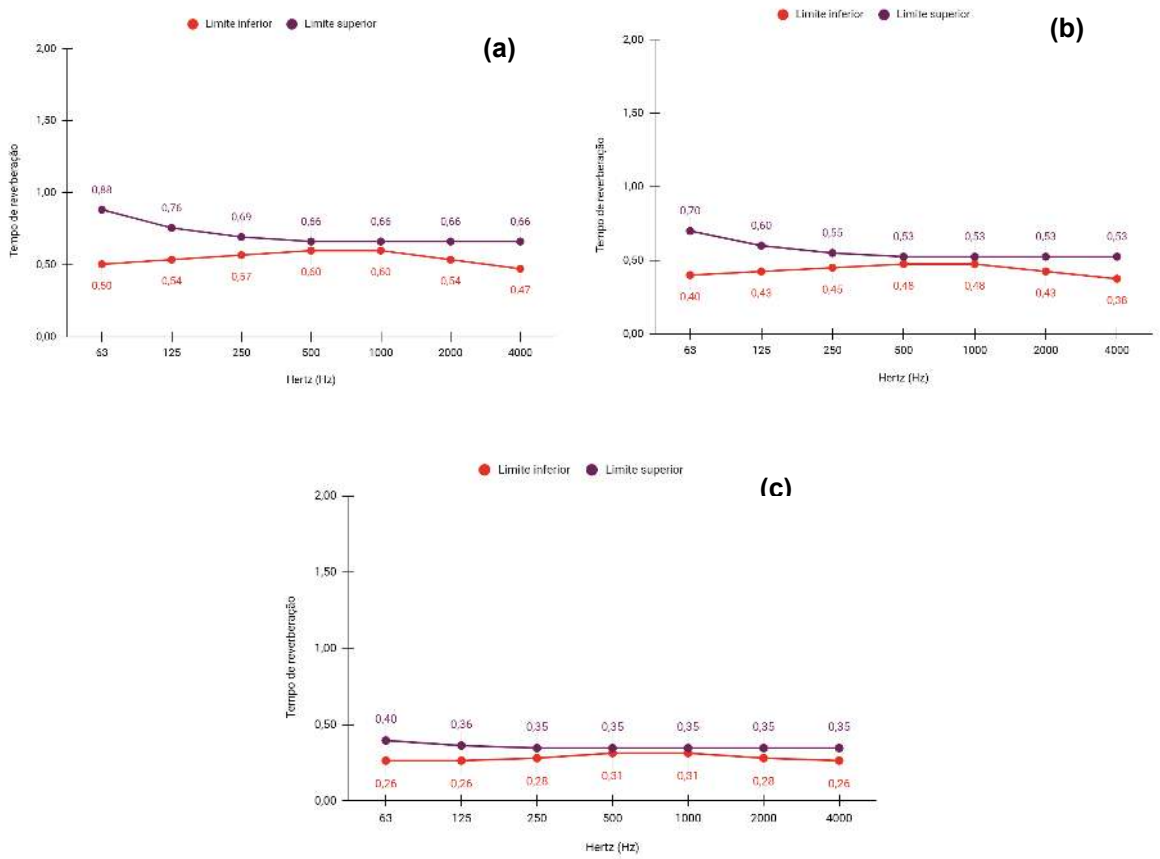
Tabela 5: Verificação dos parâmetros calculados para sala de estudo individual

	Resultados					
ID	Critérios de volume (m³)	Critério de área (m²)	Critério de altura (m)	Tmid min	Tmid max	Tmid médio
A	☑ Tempo de reverb. | ☑ Tamanho de sala	☑ Atende ao critério	☑ Atende ao critério	0,54	0,71	0,63
B	☑ Tempo de reverb. | ☑ Tamanho de sala	☑ Atende ao critério	☑ Atende ao critério	0,42	0,59	0,50
C	☑ Tempo de reverb. | ☑ Tamanho de sala	☑ Atende ao critério	☑ Atende ao critério	0,25	0,42	0,33

Fonte: Autoras (2024).

Por fim, foi possível calcular os tempos de reverberação por faixa de frequência por meio do Tmid médio para cada tipo de música (Figura 6). É possível perceber que nas baixas e altas frequências os limites inferiores e superiores dos tempos de reverberação para música acústica baixa e alta apresentam maior variação quando comparados com a música amplificada.

Figura 6 a, b e c: Limites inferior e superior do tempo de reverberação por frequência para a sala individual para música acústica baixa, alta e amplificada respectivamente



Fonte: Melo (2024).

3. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou uma ferramenta de auxílio para o desenvolvimento de projetos acústicos de salas de ensaio musical, alinhada aos parâmetros da norma ISO 23591 (2021). A ferramenta foi desenvolvida para simplificar o processo de dimensionamento acústico,

garantindo que espaços musicais atendam aos critérios técnicos de qualidade sonora, conforto e segurança auditiva desde as etapas iniciais de projeto. Ao automatizar cálculos complexos e oferecer verificações instantâneas, ela reduz erros comuns na fase de concepção e otimiza a eficiência do processo projetual.

A principal contribuição prática da ferramenta está em sua capacidade de calcular automaticamente as dimensões mínimas necessárias (volume, área e altura) conforme o tipo de música e número de usuários. Ela determina com precisão o tempo de reverberação ideal (Tmid) e verifica se os valores estão dentro dos limites recomendados para cada categoria musical - acústica baixa, acústica alta ou amplificada. Além disso, a ferramenta avalia as proporções dimensionais da sala garantindo que a geometria do ambiente evite problemas como os modos acústicos, verificando se as proporções entre comprimento, largura e altura estão dentro dos intervalos recomendados pela norma.

A reverberação é um fator determinante para a qualidade de ambientes voltados à prática e ao ensino musical, impactando diretamente o processo de ensino-aprendizagem, a clareza sonora, a precisão na execução musical e o conforto auditivo de professores e alunos. Ao fornecer valores precisos de tempo de reverberação adequados ao ambiente, a ferramenta permite a elaboração de um condicionamento acústico mais assertivo. Isso não apenas evita retrabalhos, mas também reduz gastos desnecessários durante a construção, garantindo que as soluções acústicas sejam implementadas de forma eficiente e econômica.

A ferramenta proposta neste estudo contribui significativamente para a disseminação e aplicação prática da norma ISO 23591 (2021), especialmente em contextos onde a falta de diretrizes claras pode resultar em projetos acústicos inadequados. É possível concluir que os objetivos propostos foram alcançados, porém é importante ressaltar que a ferramenta ainda está em fase inicial de testes e desenvolvimento, demandando aprimoramentos contínuos para ampliar sua precisão e aplicabilidade.

4. REFERÊNCIAS

BERANEK, L. L. **Concert Halls and Opera Houses:** music, acoustics, and architecture. 2. ed. Cambridge, MA: Bolt, Beranek & Newman, 2004.

COSTA, C. P. . **Contribuições da ergonomia à saúde do músico**: considerações sobre a dimensão física do fazer musical. Música hodie, v. 5, n. 2, 2005, p. 53-64.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO23591 - **Acoustic quality criteria for music rehearsal rooms and spaces**. [S.l.], 2021

LIMA, Pollyanna Rodrigues; VERGARA, Erasmo Felipe; LIMA, Diana Carla Rodrigues. **Simulação acústica para uma pequena sala multiuso de ensino e prática musical.** ENTAC - Encontro nacional de tecnologia do Ambiente Construído, v. 17, n. 1, nov. 2018, p. 1343–1350. ISSN 2764-9105. Number: 1. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/1478.

MAIORINO, Alexandre Virginelli; ROCHA, Rafaella Estevão da. **Ambiente construído, qualidade acústica e saúde auditiva:** A ISO 23591 e o processo projetual de uma sala de ensaio e gravação para orquestra sinfônica. In: Anais do XXX Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica - Sobrac2023. Anais...Natal(RN) UFRN, 2023. Disponível em: https://www.even3.com.br/anais/sobracnatal2023/666156-ambiente-construido-qualidade-acustica-e-saude-auditiva--a-iso-23591-e-o-processo-projetual-de-uma-sala-de-ensai/. Acesso em: 09/04/2024

MELO, Maria Eduarda Medeiros de. **Complexo de música potiguar**: proposta arquitetônica de um centro musical com ênfase na qualidade acústica. Orientadora: Bianca Carla Dantas de Araújo. 2024. 153f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) - Departamento de Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2024.

ROCHA, V. C.; BOGGIO, P. S. **A música por uma óptica neurocientífica**., Belo Horizonte, Per Musi, n. 27, 2013, p.132-140.

SÁ, L. R. de. **Acústica e educação em música:** estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Construção Civil) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SILVA, Pérides. **Acústica arquitetônica & condicionamento de ar**. Edtal, 2005.