AVALIAÇÃO DO TEMPO DE REVERBERAÇÃO E PERCEPÇÃO SONORA EM SALAS PARA O ENSINO DE MÚSICA NO CAC/UFPE

Julia Medeiros Alves (1); Jaucele Azerêdo (2)
(1) Bacharel em Arquitetura e Urbanismo, julia.malves@ufpe.br
(2) Doutora, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, jaucele.azeredo@ufpe.br
Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Cidade Universitária, 50780-970, Recife–PE, Tel.: (81) 2126 8771

RESUMO
O estudo da acústica é fundamental em diversos ambientes, principalmente quando se trata de um espaço dedicado à prática e ao ensino de música. Nessa perspectiva, é essencial que o ambiente apresente um bom desempenho acústico, de modo a proporcionar uma experiência agradável aos usuários, além de questões relativas à térmica, lumínica, ergonomia e acessibilidade. Para avaliar a eficiência acústica de salas de aula do Departamento de Música do Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco (DMus/CAC/UFPE), foram utilizados parâmetros como o tempo de reverberação (t_r) e a razão de graves (BR), aliados a pesquisas com os usuários, por meio de entrevistas e questionários. O tempo de reverberação é um dos principais critérios para qualificar a acústica de um ambiente fechado, e a razão de graves analisa o equilíbrio entre a propagação de graves e médias frequências de uma sala. Os parâmetros foram estimados de forma teórica, calculando o t_r e o BR a partir dos coeficientes de absorção das superfícies. Ao analisar as salas 09 e 13 do DMus, foi possível corroborar o que havia sido relatado nas entrevistas e nos questionários pelos usuários, bem como entender suas expectativas em relação ao ambiente construído. Os resultados obtidos indicaram que as salas de aula do DMus apresentam um desempenho acústico abaixo do ideal, o que afeta a qualidade da experiência dos usuários, prejudicando o aprendizado e a prática musical. Tornam-se necessárias futuras investigações acerca do tema, para fundamentar soluções que melhorem a acústica das salas, visando proporcionar uma experiência mais agradável e produtiva aos usuários.

Palavras-chave: acústica de salas, tempo de reverberação, razão de graves, percepção sonora.

ABSTRACT
The study of acoustics is essential in many environments, especially when it comes to a space dedicated to the practice and teaching of music. From this perspective, it is essential that the environment presents a good acoustic performance, in order to provide a pleasant experience for users, in addition to issues related to thermal, lighting, ergonomics and accessibility. To adjust the acoustic efficiency of classrooms at the Department of Music at the Center for Arts and Communication at the Federal University of Pernambuco (DMus/CAC/UFPE in Portuguese), parameters such as reverberation time (tr) and bass ratio (BR), combined with research with users, through interviews and sessions. Reverberation time is one of the main criteria for evaluating indoor acoustics, and bass ratio looks at the balance between a room's bass compensation and midrange frequencies. The parameters were estimated theoretically, by calculating the t_r and the BR from the absorption coefficients of the surfaces. By analyzing DMus rooms 09 and 13, it was possible to corroborate what had been reported in interviews and classes by users, as well as to understand their expectations regarding the built environment. The results obtained indicated that the DMus classrooms have a suboptimal acoustic performance, which affects the quality of the users' experience, impairing learning, and musical practice. It is necessary to consider the theme in the future, to base solutions that improve the acoustics of the rooms, aiming to provide a more pleasant and productive experience for users.

Keywords: room acoustics, reverberation time, bass ratio, sound perception.

1. INTRODUÇÃO

A acústica é uma área de estudos multidisciplinar que estuda o som, sua geração, transmissão e efeitos (BISTAFA, 2018, p.6). A acústica de salas é a área da acústica que se destina ao estudo da propagação sonora em ambientes e do condicionamento acústico de recintos fechados, tais como salas de concerto, salas de aula, teatros, igrejas, salas de conferência, escritórios, cinemas etc.

A qualidade acústica das salas de música, sejam elas para ensaio ou espetáculo, é um fator essencial para a prática musical e a experiência do ouvinte. O parâmetro mais utilizado e consolidado para avaliar essa qualidade acústica de um ambiente é o tempo de reverberação, medida do decaimento do som no ambiente a partir da interrupção de um sinal sonoro emitido por uma fonte (BISTAFA, 2018, p. 87). O tempo de reverberação afeta a clareza, a inteligibilidade e a sensação de imersão na música, e deve ser ajustado de acordo com o tipo de música e a finalidade da sala (BERANEK, 2004).

Os fatores que tornam um ambiente agradável são inúmeros, seja do ponto de vista físico ou sensorial. Ao se pensar em um ambiente para prática e ensino de música, além das preocupações básicas de projeto, no que dizem respeito ao conforto ambiental térmico e lumínico, de ergonomia e de acessibilidade, se torna imprescindível um bom desempenho acústico.

Cada ambiente, seja dedicado à música ou não, para apresentação ou para estudo, tem desempenho acústico único. A composição de volume, forma, materiais e até mesmo particularidades do entorno da edificação influenciam para que o som se propague e seja percebido de forma diferente em cada situação (CARBONI, 2012, p. 40; ROCHA, 2010, p. 28). Assim sendo, estabelecer uma configuração de ambiente ideal para música é praticamente impossível, embora seja possível elencar critérios de análise e descobrir os elementos que tornam um ambiente adequado ou não, para determinado objetivo.

Beranek (1996, p. 491-495) defende que a experiência musical não deve ser desvinculada da acústica do ambiente onde a música é reproduzida; pois, dependendo de como o espaço influencia na propagação das ondas sonoras, o músico altera, consciente e/ou inconscientemente, sua performance, de forma a se adaptar à acústica do recinto.

No que se refere ao tratamento acústico, uma pequena sala de estudos é muito diferente se comparada a uma grande sala de concertos ou a um teatro. A percepção do usuário muda não só em função do instrumento, uma vez que as faixas de frequência são diferentes, mas também de acordo com o volume do ambiente onde o som está sendo propagado, considerando-se que o volume do ambiente tem influência diretamente proporcional ao tempo de reverberação (BISTAFA, 2018, p. 87).

Um estudo realizado por Zepidou, Dance e Nestoras (2007, p. 01), relatou que a acústica de salas para ensino de música é um objeto que, em comparação com a acústica de espaços para apresentação, tem sido pouco investigado. Dessa maneira, o presente estudo procura contribuir com a discussão acerca da eficiência dos ambientes de prática musical, e sobre a complexidade existente em torno do projeto de pequenos espaços para música, visando à promoção de espaços que proporcionem aos usuários um melhor ensino-aprendizagem, além de destacar os elementos que tornam um ambiente adequado para a prática musical.

2. OBJETIVO

O objetivo geral desta pesquisa foi avaliar as condições acústicas de salas de aula de prática e ensino de música do Departamento de Música do Centro de Artes e Comunicação da Universidade Federal de Pernambuco (DMus/CAC/UFPE), a partir da percepção do usuário e de cálculos de tempo de reverberação e razão de graves (*bass ratio)*.

3. MÉTODO

Segundo Gil (2002, p. 41-42), esta é uma pesquisa exploratória e descritiva. Exploratória, pois se buscou mais contato e aprofundamento com o tema, envolvendo levantamento bibliográfico e entrevistas com profissionais da área. Descritiva, pois se pretendeu descrever o objeto estudado e suas características, aqui as salas de estudo do DMus, por meio de estudos de campo e questionários com seus usuários.

A presente pesquisa se deteve ao cálculo dos parâmetros acústicos de salas a partir dos coeficientes de absorção sonora das superfícies e a um questionário virtual com os usuários dos ambientes, em razão da limitação de acesso ao edifício devido à pandemia da Covid-19 e ausência de equipamentos para mensuração a partir de resposta impulsiva ou som interrompido. O isolamento acústico não foi avaliado, por conta da limitação de acesso durante a quarentena, pois o entorno, e consequentemente, o ruído de fundo durante o período da pesquisa, não seria condizente com a realidade do funcionamento habitual do local.

3.1. Caracterização do objeto de estudo

O DMus pertence à Universidade Federal de Pernambuco e conta com três cursos de graduação: Bacharelado em Instrumento, Bacharelado em Canto e Licenciatura em Música. O Departamento possui também um Programa de Pós-graduação com curso de Mestrado Acadêmico em Música e diversos cursos de especialização, atividades de pesquisa e extensão, e abarca também vários grupos, a exemplo de Ars Canticus, Contracantos, Flauta de Bloco, Opus 2, Orquestra Experimental de Frevo e Ensemble Barroco Sonoro Ofício.

Atualmente, o DMus está inserido no Centro de Artes e Comunicação (CAC/UFPE), mas, além do CAC, ocupa espaços no Centro de Educação (CE/UFPE) e Centro de Convenções (CCon/ UFPE). No CAC, seu núcleo (Figura 1) e principais salas de aula se localizam na parte sudeste da edificação, no térreo, embaixo dos ateliês do Curso de Arquitetura e Urbanismo, mas há também as salas dos professores e auditórios em outras zonas do edifício.



Figura 1 - Planta Chave e Planta Baixa do núcleo do DMus no CAC. Sem escala. Julia M. Alves, 2021.

Inicialmente, foram realizadas entrevistas não-estruturadas com três alunos, um ex-professor e uma professora, onde houve a abordagem sobre o funcionamento do DMus, as principais dificuldades no uso dos espaços de estudos e quais as medidas que o Departamento utiliza para amenizar os problemas expostos. Essa etapa serviu para se familiarizar com o objeto empírico e auxiliar o desenvolvimento de um questionário exploratório. Paralelamente a essa etapa, houve a visita ao Departamento, com a tomada das dimensões físicas dos ambientes, bem como o levantamento dos materiais e das medidas das superfícies específicas compostas por cada material das salas 09 e 13, assim como o registro fotográfico.

3.2. Análise do ambiente percebido

A partir da visita *in loco* e das entrevistas iniciais, a análise dos parâmetros subjetivos foi conduzida com a utilização de um questionário. O questionário é, segundo Gil (2002, p. 115), uma das maneiras mais apropriadas para caracterizar uma população e/ou um fenômeno, a fim de se estabelecer dados qualitativos. O questionário desenvolvido com questões objetivas e discursivas foi direcionado a professores e alunos que estão no Departamento há mais de dois anos e/ou que saíram do DMus há menos de dois anos. Os dados foram coletados de acordo com as diretrizes da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (Conep) para coleta de dados virtuais de forma anônima. Foram obtidas informações sobre o perfil do questionado, acústica em geral e sobre o DMus em si, sistematizadas em planilhas Excel.

Foi realizado um pré-teste com cinco professores e nove alunos. A partir das respostas e dos comentários dos respondentes acerca das questões, uma nova versão foi criada, ajustando-se algumas questões. Nenhuma resposta do pré-teste foi utilizada na análise final, apenas os dados obtidos pela versão final dos questionários.

A coleta de dados foi realizada através da ferramenta Formulários Google. Os docentes foram contactados via e-mail institucional e convidados a participar da pesquisa em Reunião do Colegiado do DMus e os alunos foram contactados por e-mails de turma e convidados também por meio de grupos em redes sociais, como WhatsApp e Facebook.

O questionário (Quadro 1) foi dividido em três seções. A primeira, caracterizava o respondente quanto a: faixa etária, sexo, instrumento que leciona ou estuda e sobre o tempo que faz parte do DMus. A segunda seção se referia às salas de estudo e prática de música, em geral. Os usuários deviam elencar as características acústicas e arquitetônicas do ambiente para prática musical e como esses fatores interferem na relação ensino-aprendizado de música. A última seção tinha como foco o DMus e questionava sobre as características das salas, procurando saber quais ambientes são mais ou menos adequados para cada tipo de prática.

Quadro 1 - Questionário sobre acústica de salas do DMus no CAC/UFPE.

Seção	Pergunta	Opções de resposta
O usuário	Qual a sua faixa etária?	Até 20 anos
		Entre 21 e 30 anos
		Entre 31 e 40 anos
		Entre 41 e 50 anos
		Entre 51 e 60 anos
		Acima de 61 anos
	Qual instrumento você leciona / estuda?	Resposta curta
	Há quanto tempo leciona / estuda ou estudou no Departamento de Música da UFPE (em anos)?	Resposta curta
O som no espaço	Assinale o grau de importância que você atribui a cada característica de um ambiente interno de uma sala de música (Escala de Likert).	Dimensões (largura, altura, profundidade)
		Materiais
		Forma da sala
		Isolamento acústico
	Assinale o grau de importância que você atribui a cada característica de um ambiente interno de uma sala de música (Escala de Likert).	Aprendizado
		Senso rítmico
		Articulação
		Dinâmica
		Entonação
	A sala para o ensino de música deve ou não ter as características acústicas similares às de uma sala de concertos? Por quê?	Texto de resposta longa
	De acordo com a sua experiência, descreva como seria uma sala de prática individual ideal.	Texto de resposta longa
O DMus no CAC/UFPE	Assinale as salas as quais você fez uso:	Possível assinalar várias opções entre todas as salas do CAC/UFPE ou "não utilizo esses ambientes".
	Qual local, dentre os citados na pergunta anterior, é o mais apropriado para a prática de música? Por qual motivo?	Texto de resposta longa
	Qual dos locais, dentre os citados em pergunta anterior, é o menos apropriado para o ensino de música? Por qual motivo?	Texto de resposta longa
	A condução da sua aula muda de acordo com o local onde está lecionando? Se sim, de que maneira? (apenas docentes)	Texto de resposta longa

Fonte: Julia Medeiros Alves, 2021.

Os questionários foram aplicados entre março e abril de 2021. Como principal critério de exclusão, foram descartadas as respostas dos usuários que tinham chegado ao DMus a menos de 2 anos, pois um maior convívio com os ambientes era necessário para uma maior confiabilidade das respostas. Dos 15 questionários respondidos por professores, 12 foram utilizados na análise; e dos 53 alunos participantes, 44 respostas foram analisadas. A amostra é consideravelmente pequena ao se comparar o universo amostral da análise com o número de discentes e docentes vinculados ao DMus, porém, houve dificuldade de divulgação e no engajamento dos respondentes durante o período de pandemia.

3.3. Análise do ambiente físico

A etapa seguinte foi o estudo das salas do DMus quanto ao ambiente construído e à propagação do som. Devido à dificuldade de acesso durante a pandemia, somente as salas 09 e 13 (Figura 2) foram analisadas com mais detalhes. Foi realizado o levantamento do espaço físico, utilizando trenas convencional e eletrônica, obtendo-se por meio de medição *in loco* os dados necessários para os cálculos de Tempo de Reverberação (t_r) e Razão de Graves (BR).



Figura 2 – Fotografias (A) e (B) – Salas 09 e 13, respectivamente.

Para ambas as salas, além de medir as superfícies de revestimento das paredes, piso e teto, também foi levantado o mobiliário e o perfil de ocupação das salas. A sala 09 (Figura 3) é utilizada geralmente por até seis ocupantes, enquanto a sala 13 (Figura 4) abriga quatro pessoas, confortavelmente, embora às vezes seja usada por um maior número de usuários.

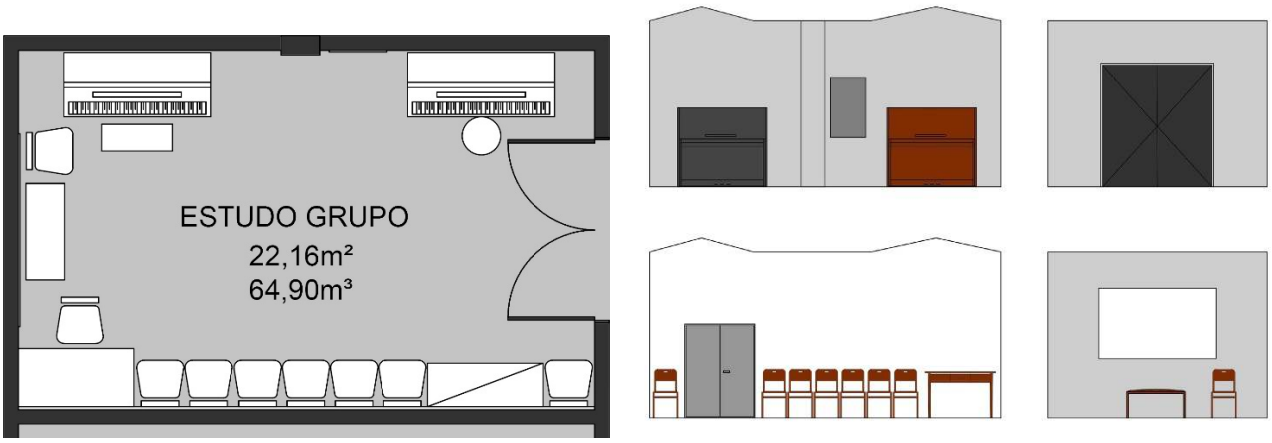


Figura 3 – Planta baixa e elevações da sala 09. Sem escala.



Figura 4 – Planta baixa e elevações da sala 13. Sem escala.

Os dados acerca dos materiais das superfícies, mobiliário e ocupantes foram sistematizados no Quadro 2, com seus respectivos coeficientes de absorção sonora, por frequência (CARVALHO, 2010, p. 67-82). Alguns materiais, especialmente aqueles provenientes de catálogos mais antigos, não apresentam coeficiente de absorção para todas as frequências analisadas.

Considerando que as salas 09 e 13 são climatizadas e que o uso ocorre exclusivamente dessa forma, por parte de todos os usuários, a análise foi feita considerando as janelas fechadas[1].

Quadro 2 - Coeficientes de Absorção dos Materiais das salas 09 e 13.

Fonte	Materiais	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
D&C	Borracha lisa	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
ABNT	Reboco liso	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,06
EUC	Eucatex acústico	0,13	0,20	0,60	0,70	0,76	0,77
EUC	Forrotex acústico	0,19	0,25	0,38	0,53	0,45	0,65
ABNT	Porta de madeira maciça	0,14	-	0,06	-	0,10	-
EUC	Cadeira comum de madeira	0,01	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04
ABNT	Banco estofado revestido em couro sintético	0,13	-	0,15	-	0,07	-
Outros	Piano	0,20	0,52	0,60	0,57	0,52	0,43
Outros	Quadro plástico vinílico sobre parede	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,02
D&C	Superfície de vidro	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
EUC	Adulto em assento de madeira	0,15	0,25	0,35	0,38	0,38	0,35
EUC	Chapa metálica sobre superfície rígida	0,002	-	0,002	0,0025	0,003	-

Fonte: Elaborado por Julia M. Alves, a partir de Carvalho (2010, p. 67-82).

A NBR 12179:1992 apresenta o procedimento para avaliação acústica de recintos fechados, com alguns coeficientes de absorção dos materiais e um gráfico, criado por Bolt, Beranek e Newman em 1948, que apresenta o tempo ótimo de reverberação a 500Hz para diversos usos. Carvalho (2010, p. 95) apresenta um fator de correção para adequar os valores do Tempo Ótimo de Reverberação (TOR) do gráfico da NBR 12179:1992 a outras frequências.

O desempenho acústico de um ambiente é considerado satisfatório quando o tempo de reverberação não ultrapassar, para mais ou para menos, 10% do tempo ótimo de reverberação, em todas as frequências analisadas. O cálculo do Tempo de Reverberação (TR) foi feito segundo a fórmula de Eyring (Equação 1), pois a absorção média dos ambientes foi maior que 0,30.

$$t_r = 1{,}161\, V / -2{,}3\, S \log\,(1 - \alpha_m) \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:
t_r é o tempo de reverberação do recinto [s];
V é o volume do recinto [m³];
S é a área total das superfícies interiores do recinto [m²];
α_m é coeficiente médio ponderado de absorção sonora das várias superfícies interiores do recinto e demais elementos absorventes nele contidos, do tipo espectadores, cadeiras, mesas etc.

Outro parâmetro utilizado para avaliar a acústica de salas e passível de ser calculado a partir do tempo de reverberação é a Razão de Graves (BR). De acordo com Beranek (1996, p. 512), trata-se da relação entre as bandas de baixa frequência (Equação 2), caracterizando o quão retumbante e poderoso é o som da sala.

$$BR = t_{r\,125} + t_{r\,250} / t_{r\,500} + t_{r\,1000} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:
$t_{r\,125}$, $t_{r\,250}$, $t_{r\,500}$ e $t_{r\,1000}$ – tempos de reverberação nas bandas de oitava de 125, 250, 500 e 1000 Hz, respectivamente.

[1] Pontua-se que alguns usuários abrem outras salas, especialmente as que são consideradas muito molhadas (alta reverberação), para um melhor controle acústico do ambiente. Caso o perfil de uso desses ambientes fosse outro, teria sido feito o cálculo também considerando as janelas abertas.

A Razão de Graves se relaciona diretamente com a percepção de “calor” da sala (LONG, 2014, p. 741). O calor é, segundo Beranek (1996, p. 30), a sensação de aconchego do ambiente, quando se é possível ouvir com clareza os baixos. Se um ambiente apresenta grande absorção nas altas frequências e pouca nas baixas frequências, pode-se ter uma sensação de ambiente “sombrio”, lúgubre. Por outro lado, ambientes com a situação inversa podem causar a sensação de um ambiente áspero, estridente.

Everest e Pohlmann (2015, p. 621) afirmam que um recinto fechado destinado à prática musical deve possuir tempo de reverberação menor que 1,8s e que deveria ter uma razão de graves entre 1,1 e 1,45. Para aqueles com um tempo de reverberação maior que 1,8s, a razão de graves deve ser entre 1,1 e 1,25. Em ambientes para fala, independente do tempo de reverberação, a razão de graves deve ser de 0,9 a 1,0.

4. RESULTADOS

Dentre os respondentes, houve uma boa variedade quanto aos instrumentos praticados, conforme as Figuras 5 e 6, o que é interessante, pois a variedade de instrumentos representa também uma maior gama de frequências a serem experienciadas pelos usuários. Com essa pluralidade, é possível ter uma avaliação mais diversa do condicionamento das salas.

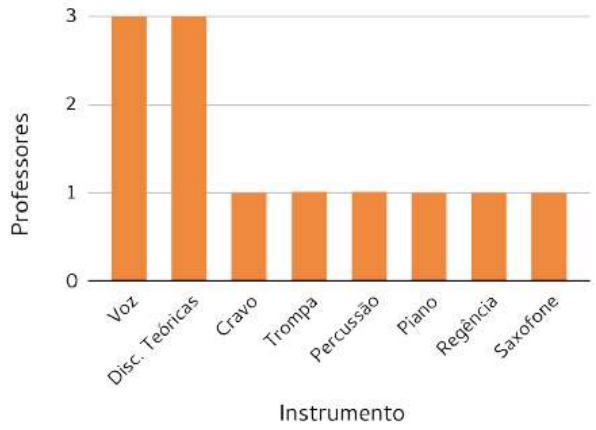


Figura 5 – Número de professores respondentes por instrumento.

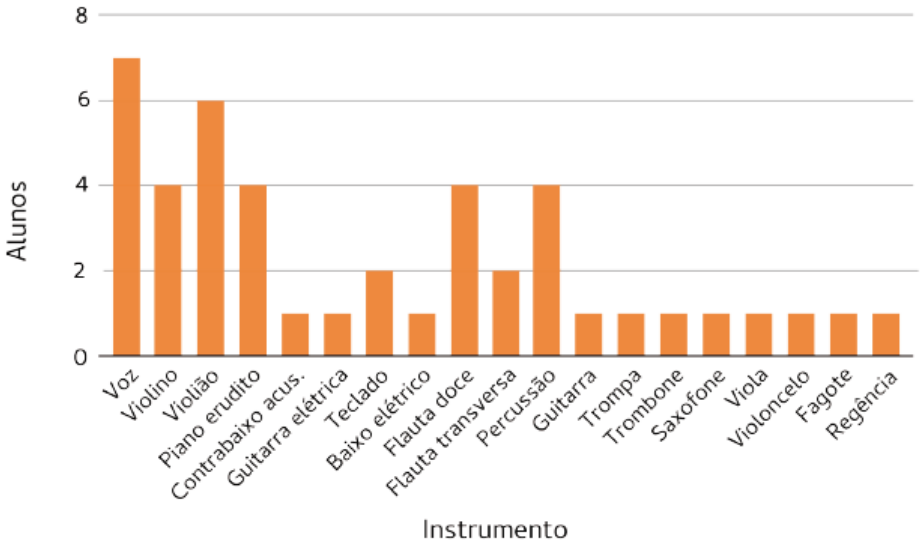


Figura 6 – Número alunos respondentes por instrumento.

Ao serem questionados sobre o grau de importância de cada característica de um ambiente interno de uma sala de música (Figuras 7 e 8), percebe-se que o isolamento acústico é o fator mais eminente para ambos os grupos de respondentes. Acerca dos demais aspectos físicos do ambiente, as dimensões foram as que tiveram menor grau de importância entre os professores respondentes, enquanto a forma da sala é a característica menos marcante entre os alunos. Mas ainda assim, todas as características foram consideradas importante ou muito importante para a maioria dos professores e alunos.

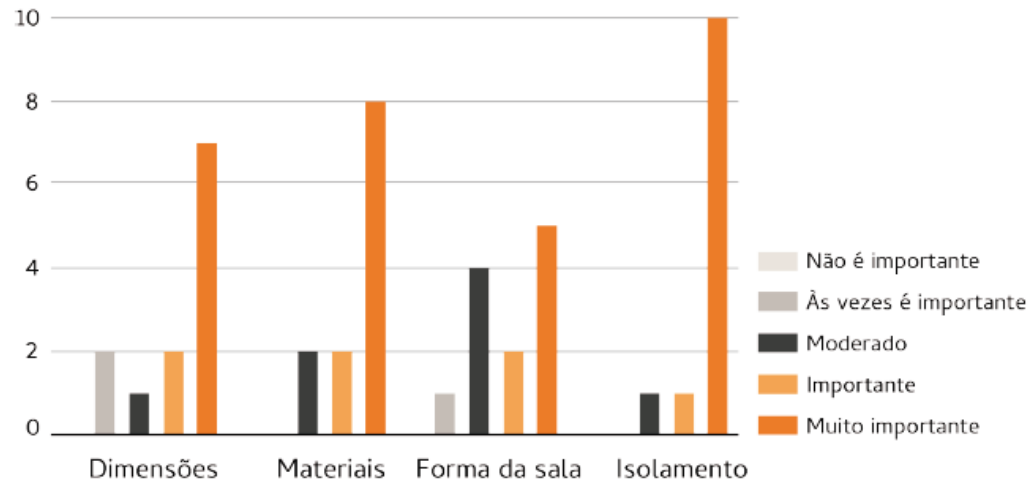


Figura 7 – Importância das características físicas internas de uma sala de música para os professores respondentes.

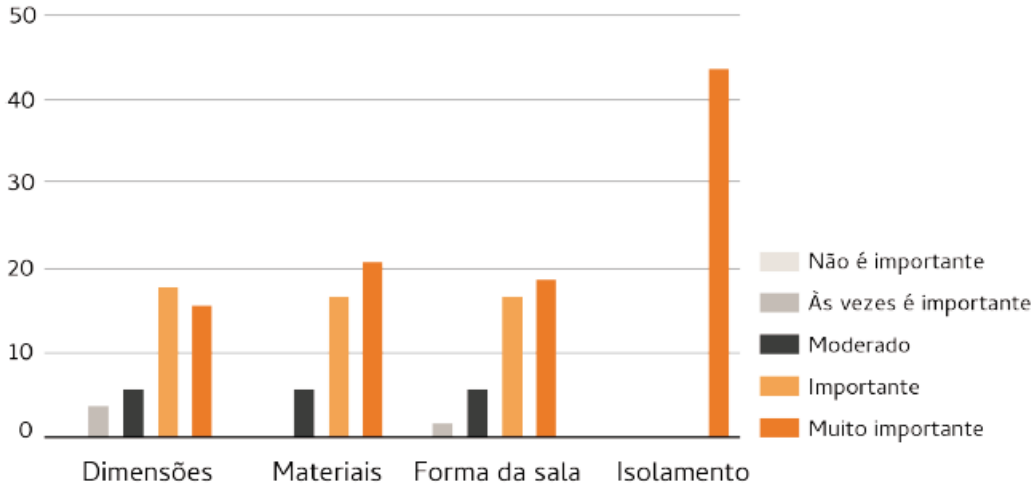


Figura 8 – Importância das características físicas internas de uma sala de música para os alunos respondentes.

Ao serem questionados sobre a influência das características físicas de um ambiente interno de uma sala de música, quanto ao aprendizado, ao senso rítmico, à articulação, à dinâmica e à entonação, percebe-se que, enquanto os professores costumam conferir grande importância a diversos atributos, os alunos normalmente são mais brandos em suas respostas (Figuras 9 e 10). No entanto, alguns professores afirmam que em relação ao senso rítmico e entonação, as características das salas não são grandes interferentes.

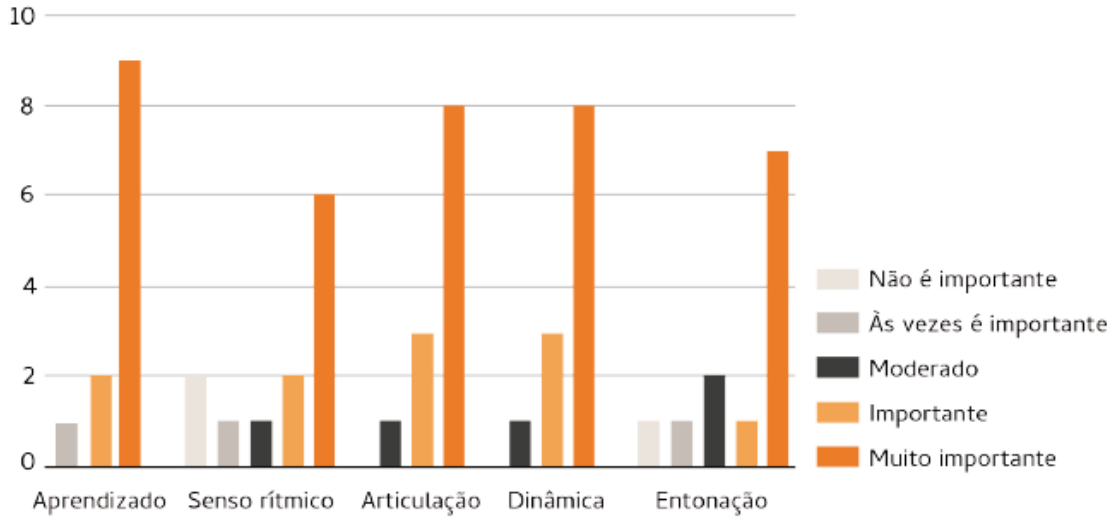


Figura 9 – Importância da influência das características físicas internas da sala de aula para os professores respondentes.

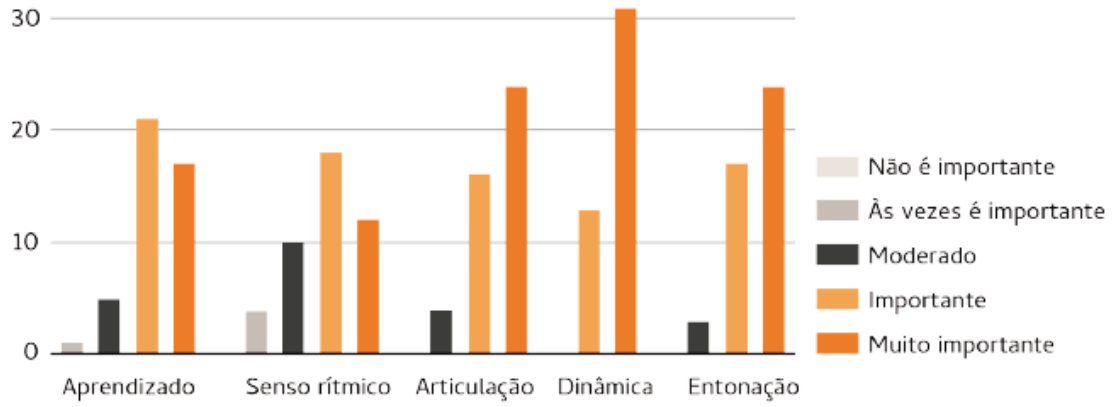


Figura 10 – Importância da influência das características físicas internas da sala de aula para os alunos respondentes.

Ao serem questionados sobre a semelhança entre os ambientes de ensino e de performance, 1/3 dos docentes afirmou que uma acústica semelhante é desejável, embora não seja obrigatória, pois é interessante que o músico saiba se adaptar. Outra parte afirmou que não era necessário. Já entre os discentes, cerca de 1/4 dos respondentes afirmou que as salas de estudo deveriam ter acústica semelhante, quase metade afirmou que poderiam ter acústica semelhante, mas que eles mesmos também poderiam se adaptar ou que são propósitos distintos e alguns poucos consideraram que não deve ser semelhante.

Sobre a sala de ensino e prática ideal, além do condicionamento acústico, muitos respondentes, sejam alunos ou professores, comentaram sobre a existência de janelas, em grande parte para iluminação natural, mas também para visualização do exterior. Também foi declarada a necessidade de mobiliários mais confortáveis, mais adequados à prática musical, e o desejo de que as paredes não sejam paralelas.

Em relação ao ambiente que seria o mais apropriado para o ensino de música, 7 dos 12 docentes e 18 dos 44 discentes respondentes afirmaram que era a sala 03, mesmo que tenham pontuado seus defeitos, principalmente a alta reverberação. Para contornar o problema, os usuários admitiram abrir as janelas, o que, embora auxilie no condicionamento, prejudica o isolamento acústico da sala.

A respeito do ambiente menos apropriado para o ensino de música, as respostas variaram bastante entre os professores. Reclamações quanto ao tratamento acústico ocorrem tanto quanto à ausência de janelas, o que gera sensação de claustrofobia em alguns dos respondentes. O mesmo aconteceu entre os alunos.

Entre os professores, 66,6% adaptam o seu modo de ensinar à sala que estão ocupando no momento. Outros dizem não adaptar, pois buscam salas que sejam mais adequadas, mesmo que para isso seja preciso buscar salas localizadas fora do DMus.

Os cálculos do tempo de reverberação e da razão de graves nas salas 09 e 13 serviram para confirmar a inadequação acústica do espaço, como também permitir visualizar os pontos que poderiam ser tratados para uma melhor qualidade das salas. Os resultados dos tempos de reverberação calculados foram comparados com o tempo ótimo de reverberação para as bandas de oitava 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz e 4000Hz, de acordo com as Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 - Tempo de Reverberação por frequência da sala 09.

	125Hz	**250Hz**	**500Hz**	**1000Hz**	**2000Hz**	**4000Hz**
Tempo ótimo de reverberação	0,9	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6
Tempo de reverberação com ocupação de 01 a 04 usuários	1,0	0,8	0,4	0,3	0,3	0,2
Tempo de reverberação com ocupação de 05 a 06 usuários	1,0	0,7	0,3	0,3	0,2	0,2

Tabela 3 - Tempo de Reverberação por frequência da sala 13.

	125Hz	**250Hz**	**500Hz**	**1000Hz**	**2000Hz**	**4000Hz**
Tempo ótimo de reverberação	0,8	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5
Tempo de reverberação com ocupação de 01 a 04 usuários	0,9	0,7	0,3	0,2	0,2	0,2

A partir do tempo de reverberação em diversas frequências, foi possível fazer o cálculo das razões de baixos (BR). Segundo Everest e Pohlmann (2015, p. 621), o valor ideal para os tempos de reverberação encontrados seria entre 1,1 e 1,45 para os ambientes estudados. O valor encontrado para a sala 09, com 01 a 04 ocupantes, foi de 2,6 e para 05 a 06 ocupantes, 2,8. Para a sala 13, com 01 a 04 ocupantes, foi encontrado o valor de 3,2. Isso indica que as salas estão mais retumbantes que o desejado, com graves muito fortes em relação às médias frequências.

Nos questionários, muitos respondentes falaram sobre a sensação de sala "seca", especialmente para a sala 13, o que ocorre justamente quando há pouca reverberação dos agudos (altas frequências). Alguns respondentes também comentaram sobre a sensação de calor acústico nas salas, sensação que já foi relacionada à razão de graves por Beranek (1996, p. 19). Esses comentários puderam ser comprovados por meio dos cálculos, que demonstram um grande desequilíbrio dos graves em relação às outras frequências, o que denota também a falta de brilho[2] e explica fisicamente a sensação de ambiente seco, acusticamente.

5. CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram caracterizadas duas salas de prática e ensino musical do DMus no CAC/UFPE, a fim de avaliar a sua adequação ao uso. A análise se restringiu às salas 09 e 13, em função das imposições e cautelas necessárias durante a pandemia de Covid-19, o que afetou o cronograma de medições e impossibilitou o acesso aos demais ambientes do Departamento.

Constatou-se que a utilização dos procedimentos entrevista não estruturada e questionários foi fundamental para a compreensão do perfil de usuário, reconhecimento da linguagem dos alunos e professores do DMus/UFPE e o cruzamento dessas informações com os parâmetros subjetivos discutidos por Beranek (1996). Foi possível notar preferências não só sobre o condicionamento acústico, mas também outros fatores ligados à arquitetura e ao conforto ambiental do ponto de vista físico, como iluminação natural e ventilação. Como também, sob o viés psicológico, em termos de dimensões do espaço e organização do mobiliário.

Para os usuários, tanto professores, como alunos, a reverberação do ambiente é um fator crucial para se avaliar um ambiente voltado para música (ensino-aprendizagem). É importante um ambiente equilibrado, em que não deve haver nem muita, nem pouca reverberação. Muitos respondentes reclamaram de características "secas" ou "molhadas" dos recintos, deixando clara a necessidade de se atender, no mínimo, aos critérios básicos normatizados.

Os cálculos do tempo de reverberação e da razão de graves comprovaram algumas narrativas dos usuários sobre os dois ambientes estudados. Foi possível perceber a inadequação dos ambientes de acordo com o tempo de reverberação, com a grande maioria dos resultados fora dos 10% de tolerância em relação ao tempo ótimo de reverberação, como estipulado pela NBR 12179:1992.

É possível afirmar que os objetivos foram atendidos, mas vale pontuar que essa é uma pesquisa introdutória e pode ser ainda continuada e aprofundada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12179. Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.

BERANEK, Leo L. Concert and Opera Halls: How They Sound. [S.I./USA]: Acoustical Society of America, 1996.

_____. Concert Halls and Opera Houses: Music, Acoustics, and Architecture. New York: Springer, 2004.

BISTAFA, Sylvio R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. 3. ed. – São Paulo: Blucher, 2018.

CARBONI, M. H. S. Qualidade acústica em salas para o ensino de música: parâmetros acústicos preferenciais na opinião de professores de música. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

CARVALHO, R. P. Acústica Arquitetônica. 2. Ed. - Brasília: Editora Theaurus, 2010.

EVEREST, F. A.; POHLMANN, K. C. Master Handbook of Acoustics. 5. ed. New York: McGraw-Hill, 2009.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.

LONG, M. Architectural Acoustics. London: Elsevier Academic Press, 2006.

ROCHA, L. S. Acústica e educação em música: estudo qualitativo para sala de ensaio e prática de instrumento e canto. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Construção Civil) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

ZEPIDOU, G.; DANCE, S.; NESTORAS, C. Analysis of two orchestral rehearsal rooms in Thessaloniki, Greece. Anais do 19th ICA. Madrid, 2007. Disponível em: http://www.seaacustica.es/WEB_ICA_07/fchrs/papers/rba-16-013.pdf. Acesso: novembro de 2021.

[2] Outro parâmetro de análise de acústica de salas se refere ao equilíbrio das altas frequências em relação às médias frequências e se relaciona com a Clareza (C_{80}). Sua determinação é feita por meio de medições e não pode ser realizada no presente estudo.