



PROJETO E CONSTRUÇÃO DE UMA FONTE SONORA OMNIDIRECIONAL DE BAIXO CUSTO

Allan Nunes Garcia¹, Heitor Lourenço Carreira Honorato², Ricardo Humberto de Oliveira Filho³

RESUMO: Em estudos de acústica, é fundamental utilizar uma fonte sonora capaz de emitir som de forma uniforme em todas as direções. Entretanto, as soluções comerciais disponíveis apresentam custos elevados, limitando seu acesso. Nesse contexto, o presente trabalho objetivou o desenvolvimento e a construção de uma fonte sonora omnidirecional de baixo custo, baseada na geometria de um icosidodecaedro, utilizando componentes eletrônicos de baixo custo e técnicas de fabricação acessíveis, resultando em um protótipo adequado para diversas aplicações em avaliação e caracterização acústica de materiais e ambientes. Foram realizados testes experimentais que comprovaram a uniformidade da distribuição sonora do dispositivo desenvolvido.

Palavras-chave: fonte sonora omnidirecional; icosidodecaedro; acústica arquitetônica; acústica de salas.

INTRODUÇÃO

Fontes sonoras omnidirecionais são fundamentais em medições de acústica arquitetônica e ambiental, sendo amplamente utilizadas em ensaios de caracterização acústica de ambientes, como salas de aula, teatros, auditórios e avaliação de isolamento sonoro de partições.

Entre as soluções comerciais mais utilizadas, destacam-se as fontes dodecaédricas e esféricas com um ou múltiplos alto-falantes. No entanto, esses equipamentos geralmente apresentam custo elevado, o que restringe seu acesso a instituições de ensino, centros de pesquisa e profissionais autônomos. Diante dessa limitação, surge a necessidade de alternativas mais acessíveis que apresentem desempenho satisfatório.

No contexto de soluções alternativas, Ibarra, Ledesma & Lopez (2018) propuseram a construção de uma fonte sonora pontual omnidirecional otimizada, combinando bases e cones acoplados a um único alto-falante para alcançar uma distribuição sonora homogênea. Os autores validaram experimentalmente o desempenho do protótipo desenvolvido, demonstrando que é possível obter resultados comparáveis aos de fontes comerciais utilizando técnicas construtivas acessíveis.

Chojnacki, Kamisinski & Flach (2018) propuseram um novo tipo de fonte baseada no uso de dois alto-falantes acoplados em um gabinete fechado, com o objetivo de alcançar uma emissão sonora espacialmente uniforme. A solução apresentada pelos autores mostrou que é possível obter um padrão omnidirecional consistente com apenas dois alto-falantes, minimizando os efeitos de rotação da fonte e possibilitando medições acústicas mais confiáveis.

Esses resultados destacam a necessidade de buscar alternativas construtivas que assegurem uma distribuição sonora uniforme, evidenciando a relevância de soluções acessíveis e eficientes para a caracterização acústica de espaços. Nesse contexto, o presente trabalho propôs o desenvolvimento e a construção de uma fonte sonora omnidirecional de baixo custo, baseada na geometria de um icosidodecaedro com doze alto-falantes distribuídos de forma a proporcionar uma emissão sonora espacialmente uniforme.

¹ Universidade Federal de Uberlândia, Graduando em Engenharia Elétrica

² Universidade Federal de Uberlândia, Graduando em Engenharia Mecânica

³ Universidade Federal de Uberlândia, Professor da Faculdade de Engenharia Mecânica

A etapa inicial do projeto consistiu na escolha da geometria da fonte sonora, um fator importante para a obtenção de uma distribuição sonora o mais uniforme possível. A literatura sobre o tema apresenta diferentes abordagens para a construção de fontes omnidirecionais, sendo a mais tradicional a que utiliza múltiplos alto-falantes dispostos em um poliedro regular. Dentre esses, o dodecaedro (12 faces) é o mais comum, conhecido por sua capacidade de gerar um campo sonoro difuso que se aproxima do ideal de uma fonte pontual (HAK, 2009; NOSELLI et al., 2014).

No entanto, para este projeto, foi escolhida a geometria de um icosidodecaedro. A justificativa está na geometria que resulta em uma maior simetria do icosidodecaedro (que possui 32 faces) em comparação ao dodecaedro tradicional (que possui 12 faces). O aumento no número de faces permite uma distribuição espacial mais fina de transdutores, o que, teoricamente, resulta em uma aproximação mais precisa de uma fonte sonora pontual. Além disso, o *design* busca superar as limitações nas altas frequências e os padrões de interferência encontrados em fontes dodecaédricas, como sugerido por Hak (2011).

O sistema proposto é composto por três elementos principais: um amplificador de áudio, um gerador de sinais e a fonte sonora. Foram utilizados um amplificador de potência LLAudio modelo PRO1200 e um gerador de sinais *Stanford Research Systems* modelo DS360, já existentes na instituição.

Para a escolha do alto-falante, priorizou-se a resposta em frequência compatível com as aplicações em acústica de salas. A norma NBR ISO 16283-1 estabelece uma faixa de frequência entre 100 Hz e 5 kHz, embora estudos complementares indiquem a necessidade de extensão dessa faixa até 10 kHz para uma caracterização mais abrangente. Com base nesses critérios, optou-se por alto falantes do tipo *Mid Bass* da JBL modelo 3,5W508, cuja resposta em frequência, de 80 Hz a 11 kHz, supera os requisitos mínimos. Após a seleção do alto-falante, a estrutura do icosidodecaedro foi modelada em *software* CAD, sendo necessário um diâmetro de 420 mm para comportar os alto falantes e permitir a instalação elétrica.

Inicialmente, a concepção para a construção da estrutura previa a utilização da impressão 3D dividido em duas metades. Contudo, essa abordagem foi reconsiderada em função das limitações técnicas inerentes à impressão de peças de grande volume. Dessa forma, optou-se por uma metodologia de fabricação mais acessível e prática, utilizando chapas de MDF de 9,0 mm de espessura cortadas a laser para as faces do poliedro e impressão 3D dos elementos de união com materiais como ABS e Tritan.

Para garantir a estabilidade do aparelho durante os ensaios, foi utilizado um tripé comercial de caixa de som. Para acoplar a fonte sonora ao tripé, foi projetada e fabricada uma peça de interface por meio de manufatura aditiva (impressão 3D) com material ABS.

MONTAGEM ELETRÔNICA

Com base nos aspectos apresentados e nas características dos equipamentos utilizados, foi proposto um modelo de configuração dos alto-falantes de forma que a impedância resultante fosse maior ou igual à impedância de saída do amplificador. Considerando que o amplificador empregado permite selecionar a impedância de saída entre 4 Ω e 8 Ω , optou-se por esta última, visando maximizar a potência entregue ao canal em uso (150 W RMS). A Figura 1, ilustra a disposição elétrica para montagem dos componentes, onde cada alto-falante é representado como uma carga (resistência).

Por meio da combinação de conexões em série e em paralelo entre os alto-falantes, obtém-se uma impedância equivalente de 10,66 Ω para o conjunto. Apesar de não permitir que



seja atingida a potência máxima especificada para o canal do amplificador (150 W RMS), a diferença entre a impedância obtida e a nominal não representa risco de sobrecarga, tanto para os alto-falantes quanto para o amplificador.

Em seguida, foi necessário determinar a corrente do circuito para dimensionar os condutores. Para este projeto, adotaram-se a potência máxima suportada pelos doze alto-falantes (600W RMS) e a impedância nominal do arranjo, de $10,66 \Omega$. Com esses valores, obtém-se uma corrente de aproximadamente 7,5 A.

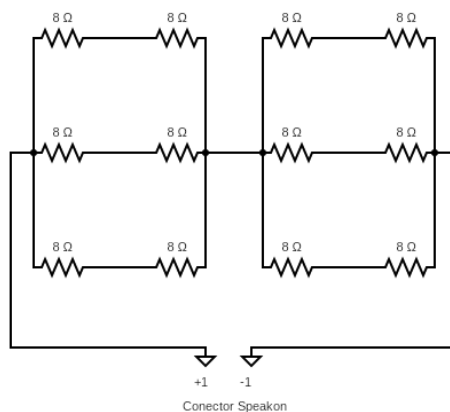


Figura 1: Esquemático de Ligação dos Alto-Falantes.

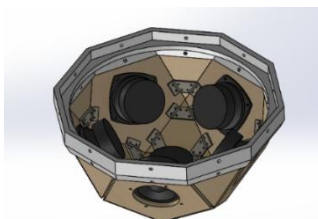
Vale destacar que, na prática, com os equipamentos utilizados, a corrente real é consideravelmente menor. Isso ocorre porque o amplificador empregado fornece apenas 150 W RMS por canal e as impedâncias casadas não apresentam exatamente os mesmos valores, garantindo que tanto os alto-falantes quanto os condutores não operem em sobrecarga.

MODELAGEM DAS PEÇAS

Foram elaboradas faces pentagonais e triangulares a partir da dimensão dos alto falantes e do espaçamento necessários entre eles. Após o dimensionamento das faces, a etapa seguinte consistiu no desenvolvimento de uma solução de união para o poliedro, sendo projetados suportes específicos. Optou-se pela utilização de componentes impressos em 3D, fabricados com Tritan, que foram parafusados às faces.

Para o fechamento do icosidodecaedro, uma solução estrutural foi concebida a partir da modelagem de duas peças de conexão. Elas foram projetadas para dividir o poliedro em duas metades e uni-las de forma segura por meio de parafusos. A fabricação dessas peças foi realizada por impressão 3D em ABS. Não foi utilizado material absorvente no interior do dodecaedro e a vedação entre as faces foi feita com PU. A Figura 2 ilustra o modelo tridimensional desenvolvido para o equipamento.

a)



b)

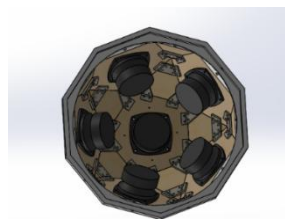


Figura 2 - Modelo tridimensional de metade da fonte sonora: a) perspectiva isométrica; b) vista superior.



ENSAIOS E VALIDAÇÃO

A validação do protótipo foi conduzida por meio de ensaios em campo livre. A omnidirecionalidade da fonte sonora foi avaliada pela medição do nível de pressão sonora em posições angulares distintas ao redor do icosidodecaedro, tanto no plano horizontal, como vertical, mantendo-se uma distância fixa de 1 metro. Foi utilizado ruído rosa.

A análise da variação do nível de pressão sonora em bandas de oitava foi utilizada para quantificar o desvio da omnidirecionalidade, em um método análogo ao empregado na validação de fontes comerciais, conforme Andrade et al. (2020) e Pasqual, Arruda & Herzog (2010).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 3 ilustra a fonte sonora omnidirecional finalizada, apoiada sobre o tripé, durante os ensaios de avaliação da omnidirecionalidade em campo livre.



Figura 3: Ensaio em campo livre para avaliação da omnidirecionalidade da fonte sonora.

A Figura 4 apresenta os resultados das medições realizadas em campo livre para avaliação da omnidirecionalidade da fonte sonora.

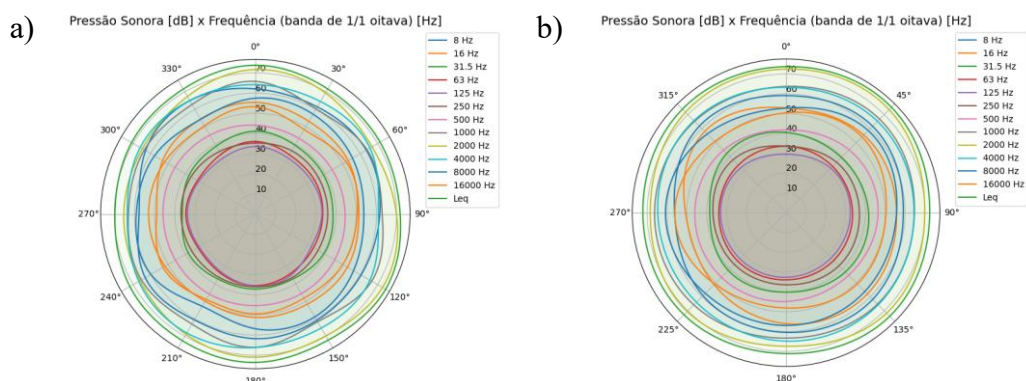


Figura 4: Diretividade média da fonte sonora: a) Plano horizontal; b) Plano vertical.

Os resultados demonstraram que a fonte sonora está em conformidade com os requisitos da norma ISO 3382-1, que estabelece os critérios para a medição de parâmetros de acústica de salas. Conforme a norma, a fonte sonora deve apresentar uma variação máxima de diretividade de até 1,0 dB nas frequências de 125 Hz a 500 Hz, e este limite se expande para 5,0 dB na faixa

de 1000 Hz a 2000 Hz, e para 6,0 dB em 4000 Hz (ANDRADE et al., 2020). A baixa variação obtida com a fonte sonora, mostrada na Figura 4, comprova a viabilidade seu uso.

As variações de nível de pressão sonora podem ser atribuídas a divergências entre as impedâncias reais de cada alto-falante que podem apresentar variações em relação aos valores fornecidos pelo fabricante, além de fatores metodológicos, como a posição exata do microfone durante a medição, que pode ter se localizado em um ponto entre dois alto-falantes e pequenos desvios de altura e distância, já que o processo foi executado manualmente. Por fim, não se pode descartar a influência de fatores ambientais, como o vento. No entanto, ressalta-se que tais desvios não comprometem a aplicação do protótipo na medição de campo difuso em salas, validando o conceito do projeto.

O investimento realizado para a construção da fonte sonora foi de aproximadamente R\$3.000,00, valor esse muito inferior ao de um equipamento comercial, cujos valores iniciam em R\$28.000,00, chegando a R\$90.000,00, a depender do fabricante escolhido.

CONCLUSÕES

O estudo resultou no desenvolvimento bem-sucedido de uma fonte sonora omnidirecional de baixo custo, que cumpre as exigências técnicas para a medição de parâmetros de acústica de recintos. O principal impacto do trabalho é a demonstração prática da viabilidade de soluções de engenharia acessíveis para o ambiente acadêmico, superando a barreira imposta pelo custo de equipamentos comerciais.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B. L., BRITES, M. M., SOARES, M. C. & GINER, J. C. Validação da direcionalidade de fonte sonora para medições de desempenho acústico. In: XII Congresso Iberoamericano de Acústica. 2020. p. 1–6.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 16283-1: Acústica Medições de campo de isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações - Parte 1: Isolamento a ruído aéreo. Rio de Janeiro, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). ABNT NBR ISO 3382-1: Acústica - Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 1: Salas de espetáculos. Rio de Janeiro 2017.
- CHOJNACKI, B., KAMISINSKI, T. & FLACH, A. Coupled speakers as an improved omnidirectional sound source for architectural acoustics measurements. In: Forum Acusticum. 2020. p. 155–158.
- HAK, C. C. J. M. The Source Directivity of a Dodecahedron Sound Source determined by Stepwise Rotation. In: Forum Acusticum. 2011. p. 1875-1879.
- IBARRA, D., LEDESMA, R., LOPEZ, E. Design and construction of an omnidirectional sound source with inverse filtering approach for optimization. HardwareX, 4, e00033, 2018.
- NOSELLI, G, SIMEONI, F., VEZZOLI, F. Study, construction and analysis of a variable directivity omnidirectional sound source. Università di Brescia, 2014.
- PASQUAL, A. M., ARRUDA, J. R. F., HERZOG, P. Fonte sonora com diretividade controlada no espaço tridimensional por um arranjo esférico compacto de alto-falantes. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, 2010.