

ANÁLISE MODAL APLICADA À AVALIAÇÃO QUALITATIVA DE ESTÚDIOS DE PRODUÇÃO FONOGRAFICA E SALAS DE AUDIÇÃO CRÍTICA

Palavras-Chave: Análise modal, conforto acústico, estúdio de gravação sonora, produção fonográfica, acústica de salas

Autores(as):

Eduardo Koji Takeshita Junior, IA – UNICAMP

Prof. Dr. José Augusto Mannis (orientador), IA - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Um dado espaço enclausurado possui uma série de modos de vibração. Cada um desses modos possui uma frequência própria que lhe caracteriza, mas em um mesmo modo pode haver diferenças de fase de movimento entre as partes do sistema, fazendo com que suas respectivas amplitudes aumentem ou diminuam proporcionalmente umas em relação às outras (MANNIS, 2017).

Os modos de vibração são decorrentes das ondas estacionárias na sala, que por sua vez, decorrem das dimensões do espaço. Podemos comparar as duas paredes opostas de uma sala fechada a um tubo de órgão. Dependendo da distância entre as duas extremidades, teremos diferentes ondas estacionárias caracterizando os modos de vibração nessa sala.

A soma de todos os modos de vibração dessa sala caracteriza a resposta acústica dessa sala. Tais ressonâncias de cada modo podem fortalecer ou enfraquecer determinadas frequências, formando uma complexa rede de distribuição de energia em um espaço tridimensional (EVEREST, 2001). A distribuição desses modos na faixa de banda determinará a qualidade acústica de uma sala.

Segundo o critério de Bonello, uma sala ideal se caracteriza pela distribuição progressivamente crescente dos modos de vibração. Uma sala que não cumpra esses critérios, nos leva a uma coloração indesejada, comprometendo a neutralidade na resposta de frequência da sala.

São objeto de estudo: três estúdios importantes no cenário fonográfico brasileiro, incluindo na Unicamp uma sala de escuta crítica e uma sala de imersão sonora em museu de ciências naturais.

METODOLOGIA:

Para cada sala foi feito um modelo tridimensional, através do aplicativo *Autocad*, para em seguida estabelecer um modelo tridimensional para realizar a simulação por elementos finitos no software *Ansys Mechanical APDL 2023*. Os primeiros modelos foram simplificados, preservando as dimensões principais das salas, e após as visitas presenciais foram feitos modelos mais acurados, com a inclusão de portas, dutos de ar e escadas, e corrigindo possíveis discrepâncias que o modelo baseado apenas nas plantas arquitetônicas apresentava.

Para melhor visualização de cada modo, foi elaborada uma apresentação de slides através do aplicativo Power Point, cada um contendo duas vistas do mesmo modo, permitindo observar os pontos e regiões de incidência de máximos e mínimos de pressão sobre todas as faces.

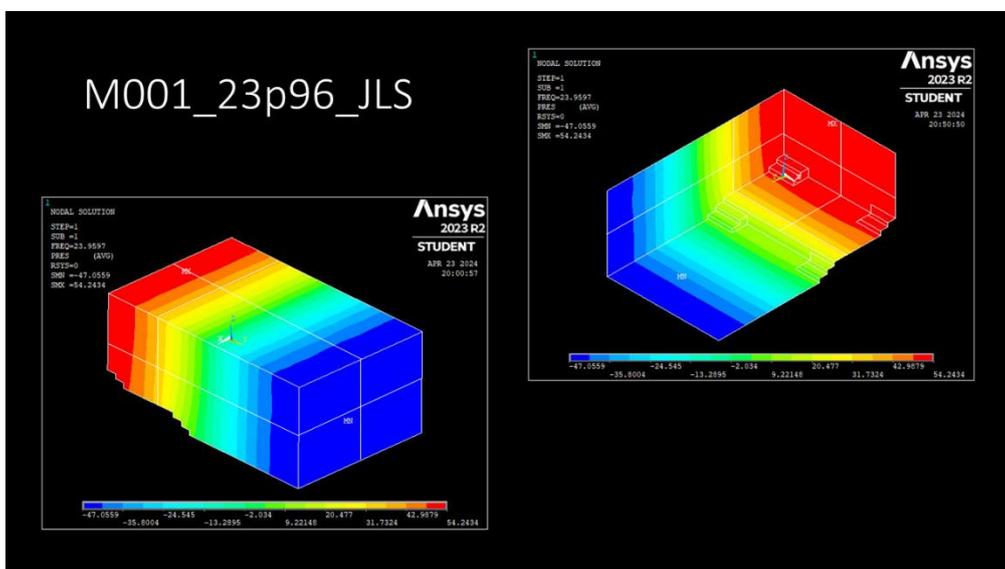


Figura 1- Primeiro modo de vibração da sala *Dolby Atmos*, da JLS. Com uma frequência de 23,96Hz. Linhas brancas dentro do objeto representam o *Sweetspot*, posição onde ficam os ouvidos do técnico de som dessa sala

Como primeira etapa na análise dos resultados, foram montados diagramas de Bonello, para averiguar a continuidade dos modos e possíveis regiões problemáticas. Como parte final do trabalho, analisaremos a suavidade e regularidade da progressão modal e a incidência desses modos apenas na região do *Sweetspot* (pontos de interesse da sala).



Figura 2- Curva de Bonello gerada a partir dos modos de vibração da sala *Dolby Atmos* da JLS

Análise musical

Uma vez estabelecida a lista de 250 modos de vibração para cada sala, um código na linguagem de programação *Python* foi desenvolvido nesta pesquisa de maneira a converter essas frequências em notas musicais, o que permite uma leitura das possíveis sensações de escuta humana da resposta modal da sala.

Sala Dolby Atmos		
Modo	FREQ	Nota:
1	23,927	-1 fá #+
2	37,535	0 ré +
3	44,587	0 fá +
4	46,497	0 fá #
5	56,928	0 lá +
6	60,018	0 lá #+
7	66,203	1 dó.
8	68,311	1 dó #
9	71,099	1 dó #+
10	74,93	1 ré +
11	75,437	1 ré +
12	76,76	1 ré #

Tabela 1- doze primeiros modos de vibração da Sala *Dolby Atmos*, JLS. Na coluna do meio temos a frequência do modo e na coluna a direita temos a nota musical correspondente, em sistema de quartos de tom.

Para facilitar a análise, o programa também gera automaticamente uma partitura musical, no formato XML, contendo as notas correspondentes aos valores inseridos, também utilizando o sistema de *quartos de tom*. No caso de dois ou mais modos correspondendo a uma mesma nota, como é o caso dos modos número 10 e 11, optamos por imprimir a nota uma única vez na partitura, inserindo abaixo da mesma uma legenda informando o número de modos que possuem essa mesma nota, nos permitindo avaliar o balanço tonal da sala¹.



Figura 3- Partitura musical representando os modos de vibração da sala *Dolby Atmos*, da JLS. Podemos observar buracos na resposta de frequência representados pelas pausas de semínima, e como a distribuição fica mais contínua conforme diminui o comprimento de onda

¹ Quando os modos se acumulam em uma mesma nota, há um aumento da intensidade da onda estacionária correspondente a frequência dessa nota. Portanto, quanto mais notas acumuladas, mais intensa será a onda estacionária.

Dado um sistema de *quartos de tom*, partindo de um Lá 440 Hz, tem-se 24 alturas (notas musicais) por oitava. Caso a sala não apresente uma dessas notas, o programa insere automaticamente uma pausa em seu lugar, representando assim sua ausência. Isso facilita a observação da progressão modal em partitura musical, evidenciando eventuais descontinuidades nessa progressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

O presente resumo utilizou-se dos resultados obtidos pela análise da sala Dolby Atmos da JLS. Ademais, as outras quatro salas também se apresentam na mesma etapa de análise. Esperamos com base nos dados obtidos poder orientar os proprietários de cada espaço sobre as possíveis distorções geradas pelos modos, informando qual banda de frequência e qual nota musical pode trazer enganos aos ouvidos e em gravações.

Uma boa parte dos esforços se deu no sentido de compreender a análise que devemos fazer para atingir nossos objetivos de modo a automatizar processos e simplificar etapas. Com este trabalho, esperamos facilitar a realização de estudos futuros nesta mesma linha de investigação, disponibilizando os códigos utilizados e as formas encontradas para automatizar saídas de dados mais compreensíveis e claras.

CONCLUSÕES:

A análise da simulação por elementos finitos, considerando a constatação de incidências de máximos e mínimos de pressão no *sweetspot* de cada sala nas plotagens simuladas em 3D, associada à progressão modal representada em partitura musical permitirá uma avaliação crítica da qualidade de desempenho de cada sala nos pontos de escuta estabelecidos. Os resultados dessa análise dependem ainda da sensibilidade de observação crítica e atenta dessas incidências bem como de eventuais *gaps* na continuidade da frequência dos modos sucessivos.

BIBLIOGRAFIA

MANNIS, J. A. **Mapeamento Sonoro da Percepção de alturas a partir de análise modal**: Sala de prática método Derose Unidade Flamboyant, Campinas-Sp. São Paulo, Fevereiro, 2012.

MANNIS, J. A. **Análise modal aplicada ao design de estúdios de produção fonográfica e de salas para prática musical**. Anais do Congresso de Engenharia de Audio da AES Brasil - ISSN 2177-529X São Paulo, Maio, 2016.

BONELLO, Oscar. **A new criterion for the distribution of normal room modes**. Journal of the AES. v. 29, n. 9, p. 597-606, September, 1981.

EVEREST, F. Alton. Acoustic of small rooms. In: **Handbook for sound engineers: the new audio cyclopedia**. Glen Ballou, editor. 2. ed. Indiana (EUA):Sams / MacMillan, 1987.