



FIA 2020/22

XII CONGRESSO/CONGRESO IBEROAMERICANO DE ACÚSTICA

XXIX ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA - SOBRAC

Florianópolis, SC, Brasil

Desenvolvimento e uso de planilhas abertas no ensino de projeto acústico

Nunes, F. M.¹; Valadares, V. M.²

^(1,2) Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, franciscomartins.nunes@gmail.com, vmare.bhz@gmail.com

Resumo

O estudo da acústica em cursos de graduação, como no caso da Arquitetura e Urbanismo, apesar de apresentar uma disponibilidade crescente de materiais relativos aos conceitos teóricos da área, ainda lida com uma certa escassez de material voltado ao conhecimento tácito de sua prática. Tendo como objeto de estudo características espaciais invisíveis, com avaliações quantitativas por meio de diversas fórmulas matemáticas, o estudo de acústica pode se tornar muito abstrato e pouco receptivo aos discentes. Porém em um momento em que a demanda por tratamentos acústicos cresce cada vez mais, com o aumento da poluição sonora e de atividades remotas (*home office*, *home studio* etc.), se faz necessário uma maior presença e sensibilização do tema na formação desses profissionais. Por meio do Programa de Monitoria da Graduação (PMG) na Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais (EA-UFGM) foram desenvolvidas planilhas abertas que facilitem o acesso e manuseio de diversos cálculos utilizados para a avaliação de desempenho e proposição de materiais e sistemas construtivos em exercícios de projetos acústicos realizados pelos discentes. À luz das normas brasileiras, leis municipais e estaduais, assim como a bibliografia utilizada nas disciplinas, o presente estudo almeja compilar essas ferramentas desenvolvidas, envolvendo etapas do projeto desde o levantamento, avaliação dos níveis de pressão sonora, cálculos de perda por transmissão sonora, tempo de reverberação, dimensionamento de difusores residuais quadráticos e ressonadores, assim como o estudo de acústica modal.

Palavras-chave: acústica arquitetônica, planilhas de cálculo, ensino em acústica

PACS: 43.10.Ln, 43.10.Sv, 43.55.-n,

Open spreadsheet development and its use teaching acoustic design

Abstract

The study of acoustics in undergraduate courses, such as the case of the Architecture and Urbanism program, despite presenting an increasing availability of study materials related to the theoretical concepts of the area, still faces a lack of material aimed at the tacit knowledge of its practice. Having as object of study invisible spatial characteristics, with quantitative evaluations by means of several mathematical formulas, the study of acoustics can become very abstract and unattractive to the students. However, at a time when the demand for acoustic treatments grows more and more, with the increase of noise pollution and remote activities (*home office*, *home studio*, etc.), it is necessary to have a greater presence and awareness of the subject in the training of these professionals. Through the Undergraduate Monitoring Program (PMG) at the School of Architecture of the Universidade Federal de Minas Gerais (EA-UFGM) open spreadsheets were developed to facilitate the access and calculations to evaluate the performance and to propose materials and building systems in exercises of acoustic design conducted by students. In the light of Brazilian federal standards, municipal and state laws, as well as the bibliography used in the courses, this study aims to compile the developed tools, involving project stages from the land use survey, evaluation of sound pressure levels, sound transmission loss calculations, reverberation time, design of quadratic residue diffusers and resonators, as well as the study of modal acoustics.

Keywords: architectural acoustics, spreadsheets, education in acoustics



1. INTRODUÇÃO

Com a urbanização e aumento da densidade populacional, o excesso de ruído tem afetado cada vez mais a qualidade de vida da população. Além dos impactos negativos da poluição sonora na saúde, o aumento das atividades remotas (*home office*, *home studio* etc.) tem gerado uma maior demanda por tratamentos acústicos desses espaços.

As disciplinas de acústica no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo partem de características básicas do som até o estudo de acústica ambiental e acústica arquitetônica. Porém, por tratar de um tema denso apresentado em uma carga horária compacta, os discentes podem encontrar dificuldade em assimilar e aplicar os conceitos estudados. Dada a necessidade de maior presença do tema na formação e atuação desses profissionais, foi proposto, através do projeto de monitoria, o desenvolvimento de planilhas acessíveis, de fácil manuseio e consulta. As planilhas utilizam conceitos e equações apresentadas em aula a serem aplicados em projetos de intervenção e adequação acústica. O texto discorrerá sobre as equações utilizadas e demonstrará a aplicação das planilhas por capturas de tela.

2. ENSINO DE ACÚSTICA NA EA-UFGM

O ensino de acústica no curso de graduação em Arquitetura e Urbanismo na Universidade Federal de Minas Gerais (EA-UFGM) atualmente engloba quatro disciplinas, sendo uma obrigatória com carga horária de 45 horas e três optativas com 30 horas cada. As disciplinas apresentam inicialmente conceitos básicos do som, abordando tanto suas características físicas, como onda mecânica, quanto seus efeitos nos seres humanos, em uma abordagem psicofísica. As primeiras atividades não contam com planilhas automatizadas e visam a familiarização dos discentes com a escala logarítmica, a adição e subtração de níveis de pressão sonora, as frequências das ondas sonoras e seu espectro audível.

Após a introdução ao fenômeno acústico, os discentes são apresentados à acústica ambiental

e à acústica arquitetônica, abordando questões relativas à privacidade e condicionamento. As planilhas são disponibilizadas na etapa de projeto, como suporte para o levantamento de dados, realização de análises segundo os parâmetros apresentados em aula e o desenvolvimento de intervenções acústicas com especificações e estimativa de desempenho dos materiais e sistemas propostos.

3. PLANILHAS DESENVOLVIDAS

Todas as planilhas seguem uma mesma formatação: células em tons de azul indicam onde o usuário deve interagir e/ou preencher com informações, células em tons de cinza indicam valores gerados automaticamente, títulos e textos. Para facilitar a compreensão do conteúdo, cada guia conta com gráficos, figuras e equações utilizadas nos cálculos apresentados.

Considerando o aspecto didático das planilhas, as etapas dos cálculos foram apresentadas de maneira mais simplificada e elucidativa possível. Pelo mesmo motivo, foram criadas sem o uso de programação em VBA visando uma maior versatilidade e compatibilidade do arquivo, possibilitando também seu uso *on-line* através do *site* com as planilhas incorporadas¹.

Atualmente, estão disponíveis seis planilhas (vide Figura 1) que serão apresentadas a seguir. Outras planilhas estão em desenvolvimento, entre elas estão tabelas para análise de linhas férreas, dimensionamento de barreiras acústicas e de atenuadores lamelar.

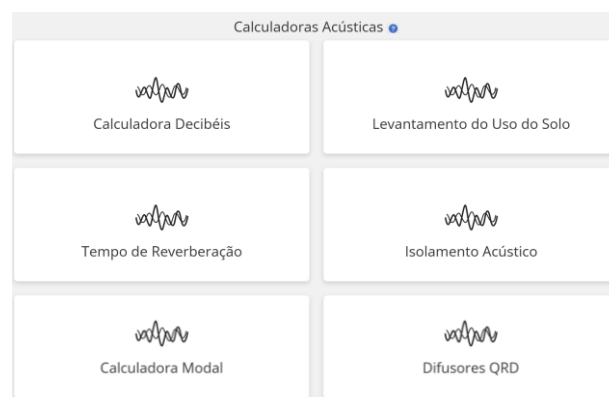


Figura 1: Página inicial com acesso às planilhas.

¹ Disponível em: <https://accalc.com.br>

3.1 Operações básicas em decibel

Na primeira planilha são apresentadas as operações logarítmicas comumente utilizadas para análise de níveis de pressão sonora. A planilha permite a adição, subtração e média de até doze valores diferentes (vide Figura 2), podendo ser alterada caso necessário o acréscimo de linhas. As equações utilizadas ficam disponíveis para consulta ao lado das colunas de cálculo. Na mesma planilha, está disponível a guia “LAEqT”, onde as operações de adição e média logarítmica são aplicadas para o cálculo de médias e valores globais dos níveis de pressão sonora (NPS) inseridos por banda de oitava (vide Figura 3).

ADIÇÃO			SUBTRAÇÃO			MÉDIA		
L1	60	dB	L1	63	dB	L1	70	dB
L2	60	dB	L2	60	dB	L2	60	dB
L3		dB	L3		dB	L3	60	dB
L4		dB	L4		dB	L4	60	dB
L5		dB	L5		dB	L5	60	dB
L6		dB	L6		dB	L6	60	dB
L7		dB	L7		dB	L7	60	dB
L8		dB	L8		dB	L8	60	dB
L9		dB	L9		dB	L9		dB
L10		dB	L10		dB	L10		dB
L11		dB	L11		dB	L11		dB
L12		dB	L12		dB	L12		dB
L _T	63	dB	L _T	60	dB	L _T	63	dB

Figura 2: Adição, subtração e média logarítmica.

Níveis de Pressão Sonora Coletados									
PONTOS	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz	GLOBAL
PONTO 01	62	72	86	84	82	78	74	58	90
PONTO 02	72	70	67	66	67	66	59	54	77
PONTO 03	54	59	66	67	66	67	70	72	77
PONTO 04									-
PONTO 05									-
PONTO 06									-
LAEqT	68	69	81	79	77	74	71	67	85

Figura 3: Tabela para cálculo de média e valores globais de níveis coletados por frequência.

3.2 Levantamento de uso do solo

A planilha nomeada “Levantamento de uso do solo”, apesar de não conter cálculos relacionados à acústica, é disponibilizada como suporte para caracterização do entorno ao consultar a NBR 10.151 [1]. O preenchimento pode ser realizado através do levantamento *in loco* ou virtual, por meio de imagens de satélite e recursos como Google Street View. O arquivo

conta com quatro guias em que podem ser preenchidas e calculadas individualmente (vide Figura 4), cada uma com sua respectiva representação esquemática da quadra, que podem ser inseridas nos relatórios a serem desenvolvidos para a atividade.

QUADRA 01								
VIA:	NOME DA RUA 1							
Nº	RESIDENCIAL		COMERCIAL	SERVIÇOS	INSTITUCIONAL	INDUSTRIAL	OUTROS	N/A
	UNI.	MULTI.						
101	X							
103	X							
105		X						
107			X					
109			X					
111								X
113				X				
115			X					
117	X							
119				X				
121			X					
123					X			
125	X							
127								
129								
VIA:	NOME DA RUA 2							
Nº	RESIDENCIAL		COMERCIAL	SERVIÇOS	INSTITUCIONAL	INDUSTRIAL	OUTROS	N/A
	UNI.	MULTI.						
200					X			
202			X					
...								
422								
424								
TOTAL	12	2	10	4	2	0	0	3
	14							

Figura 4: Exemplo de tabela para levantamento do entorno a ser preenchida.

Após o preenchimento das fichas de levantamento, são disponibilizados na primeira guia a tabela com os resultados e o gráfico para análise (vide Figura 5), assim como a tabela para consulta com limites de NPS em função dos tipos de áreas habitadas de acordo com a NBR 10.151.

LEVANTAMENTO DO USO DO SOLO								
QUADRA	RESIDENCIAL	COMERCIAL	SERVIÇOS	INSTITUCIONAL	INDUSTRIAL	OUTROS	N/A	
01	14	10	4	2	0	0	3	
02	14	10	4	2	0	0	3	
03	14	10	4	2	0	0	3	
04	14	10	4	2	0	0	3	
TOTAL	56	40	16	8	0	0	12	

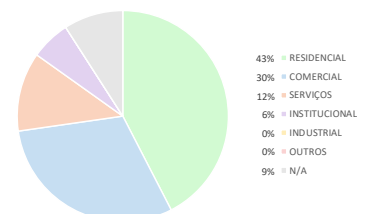


Figura 5: Resultado do levantamento e gráfico para análise pela NBR 10.151.



3.3 Cálculo de isolamento acústico

Adentrando a acústica arquitetônica, a planilha de isolamento acústico aborda o estudo de privacidade em três etapas. A primeira guia, apresentada na Figura 6, conta com tabelas para estimativa do isolamento de ruído aéreo entre ambiente fonte e ambiente receptor. As tabelas permitem caracterizar o desempenho do sistema construtivo, assim como determinar valores de isolamento esperado para que se atenda os níveis de referência indicados pela NBR 10.152 [2], de acordo com o uso do ambiente estudado. Além das tabelas, também são disponibilizados dois gráficos: um para a comparação entre os níveis de pressão sonora coletados no ambiente receptor e os níveis de referência definidos pela norma, outro para a comparação do desempenho do sistema atual e da intervenção proposta.

Valores mensurados no ambiente emissor						
Especificação	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Nível Ambiente Fonte (L _s)	85	82	82	72	73	69

Estimativa de isolamento acústico experimental						
Especificação	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Nível Ambiente Receptor (L _r)	64	58	54	51	49	48
Tempo de Reverberação (T)	1,57	1,14	0,95	0,94	0,92	0,80
Diferença de nível (D _{nT})	26	28	31	24	27	23

Valores de referência para o ambiente estudado						
Curva NC (NBR 10152)	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
RLNC 30	48	41	35	32	29	28
Isolamento esperado (D _{e,N})	37	41	47	40	44	41

Valores de isolamento proposto						
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Isolamento proposto (D)	36	42	48	54	50	44
Nível Ambiente Proposto (D _p)	49	40	34	18	23	25

Figura 6: Cálculos para estimativa e análise de isolamento pela NBR 10.152.

A segunda guia da planilha, apresentada na Figura 7, é voltada para o estudo de desempenho de materiais e sistemas construtivos simples. No caso de sistemas monolíticos é utilizada a Lei da Massa, dada pela equação

$$PT = 20 \log(M \cdot f) - 47,4, \quad (1)$$

Para esse cálculo, basta preencher a primeira tabela com a espessura (e) e densidade (D) de cada material que compõe o sistema, a densidade superficial (M) e a perda por transmissão (PT) por frequência (f) são

calculadas para cada material individualmente assim como o resultado do sistema completo.

No caso da estimativa de isolamento acústico para sistemas construtivos duplos, do tipo massa-mola-massa, utiliza-se as seguintes equações apresentadas por Gerges [3],

$$f_{mam} = \left(\frac{c}{2\pi} \right) \sqrt{\frac{\rho}{d} \left(\frac{m_1 + m_2}{m_1 \cdot m_2} \right)}, \quad (2)$$

em que f_{mam} é a frequência de referência para os cálculos subsequentes, c é a velocidade do som no ar (m/s), ρ é a densidade do ar (kg/m³), d é a distância entre as paredes (m) e m_1 e m_2 são as densidades superficiais dos respectivos materiais (kg/m²).

Ao definir a f_{mam} , a perda por transmissão do sistema é calculada para cada frequência a partir de uma das três equações a seguir:

Se a frequência (f) corresponder a

$$\frac{(\rho \cdot c)}{\pi(m_1 + m_2)} < f < f_{mam}, \quad (3.1)$$

então a perda por transmissão é dada por

$$PT = 20 \log[f(m_1 + m_2)] - 47,4, \quad (3.2)$$

Se a frequência (f) corresponder a

$$f_{mam} < f < \frac{c}{2\pi d}, \quad (4.1)$$

então a perda por transmissão é dada por

$$PT = PT_1 + PT_2 + 20 \log \left(\frac{4\pi d f}{c} \right), \quad (4.2)$$

em que PT_1 e PT_2 são as perdas por transmissão dos respectivos materiais, calculados pela Lei da Massa.

Se a frequência (f) corresponder a

$$f > \frac{c}{2\pi d}, \quad (5.1)$$

então a perda por transmissão é dada por

$$PT = PT_1 + PT_2 + 6, \quad (5.2)$$

A frequência de referência, assim como as três equações e suas condições são sintetizadas nas



Após o preenchimento da planilha, as etapas intermediárias do cálculo são apresentadas, onde então utiliza-se a fórmula

$$TR = 0,161 \frac{V}{A_T}, \quad (6.1)$$

onde V é o volume (m^3) do ambiente, já inserido anteriormente, e A_T é a absorção total da sala (m^2 Sabin) calculado pela equação

$$A_T = 4mV - S \cdot \ln(1 - \alpha_m), \quad (6.2)$$

em que $4m$ é o coeficiente de absorção do ar de acordo com Beranek [6], V é o volume (m^3) do ambiente, S é a somatória das áreas superficiais (m^2), e α_m é o coeficiente médio de absorção do recinto definido por

$$\alpha_m = \frac{(APS+APC)}{S}, \quad (6.3)$$

em que APS é a absorção parcial devido superfícies, definido pela soma do produto das áreas de cada superfície e seus respectivos coeficientes de absorção; APC é a absorção parcial devido a corpos, definido pela soma do produto da quantidade de cada objeto e seus respectivos coeficientes de absorção; e S é a somatória das áreas superficiais da sala.

O resultado do tempo de reverberação calculado é disponibilizado em conjunto do tempo ótimo de reverberação definido anteriormente, ambos também apresentados em gráfico (vide Figura 11) para que possam ser inseridos nos relatórios das atividades desenvolvidas.

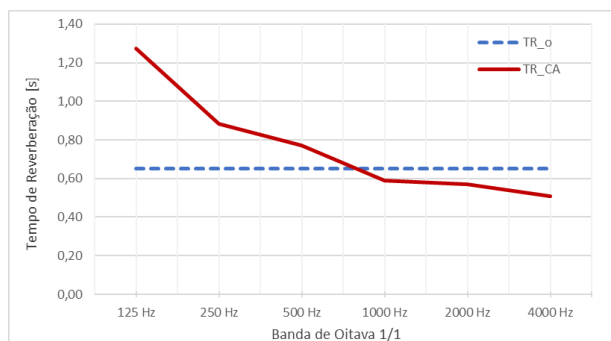


Figura 11: Tempo de reverberação calculado e ótimo.

3.5 Dimensionamento de difusores QRD

Outra atividade realizada nas disciplinas de projeto acústico é o desenvolvimento e

dimensionamento de difusores. Para isso, é disponibilizada uma planilha para o cálculo de difusores de Schröder, conforme apresentado no livro *Handbook for Sound Engineers* editado por Ballou [7], que utiliza de princípios matemáticos simples para determinar uma estrutura periódica de reentrâncias. A dimensão das reentrâncias (w) é definida pelo menor comprimento de onda que o difusor atuará na dispersão do som. Sendo mais conveniente trabalhar com as frequências, a largura das reentrâncias é obtida através da expressão

$$w = \frac{c}{2 \cdot f_{\max}}, \quad (7)$$

na qual c é a velocidade do som no ar (m/s) e $f_{\max}$ é a frequência máxima de atuação (menor comprimento de onda). Já para a obtenção da profundidade das reentrâncias (d_n), deve-se definir a frequência mínima (maior comprimento de onda) de atuação do difusor e o número de reentrâncias por período (N), que deve ser primo. Resultado da seguinte equação

$$d_n = \frac{s_n \cdot c}{2N \cdot f_0}, \quad (8.1)$$

onde s_n é o número da sequência para a reentrância n , obtida pelo resto não negativo (mod) do dividendo n^2 e divisor N :

$$s_n = n^2 \bmod N, \quad (8.2)$$

A exemplo da Figura 12, em um difusor residual quadrático (QRD) com $N = 7$, tem como reentrâncias $n = [0; 1; 2; 3; 4; 5; 6]$ e por consequência $s_n = [0; 1; 4; 2; 2; 4; 1]$.

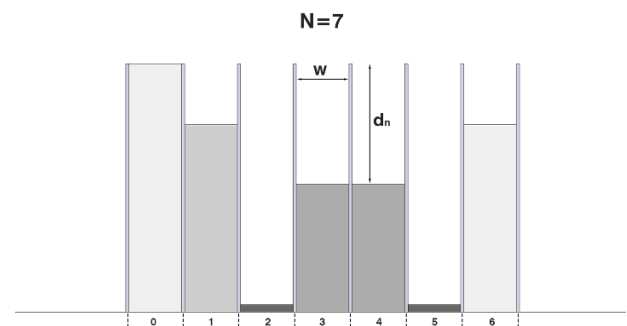


Figura 12: Representação esquemática em corte do difusor de Schröder.

Para o uso da planilha, apresentada na Figura 13, basta preencher as frequências mínima (f_0) e máxima ($f_{\max}$) e o número primo de reentrâncias por período (N). As dimensões do difusor são indicadas logo abaixo das informações inseridas, ao lado dos valores é disponibilizada uma representação da vista frontal do QRD dimensionado, nele é possível consultar os valores de s_n por célula, caso a questão “Mostrar valores?” seja marcada com “Sim.”. Além da vista frontal, a planilha conta com um gráfico como representação em corte do difusor (vide Figura 14), para melhor visualização da profundidade das reentrâncias (d_n).

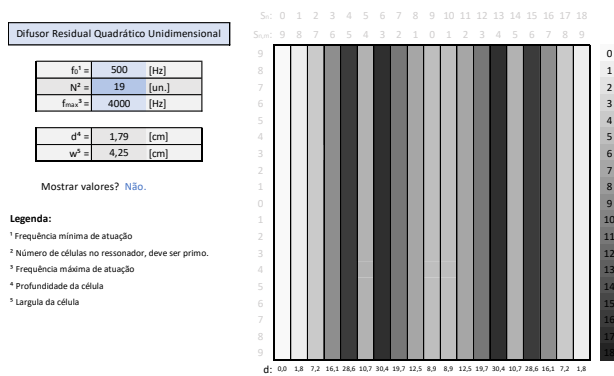


Figura 13: Dimensionamento e representação de vista frontal do QRD unidimensional.

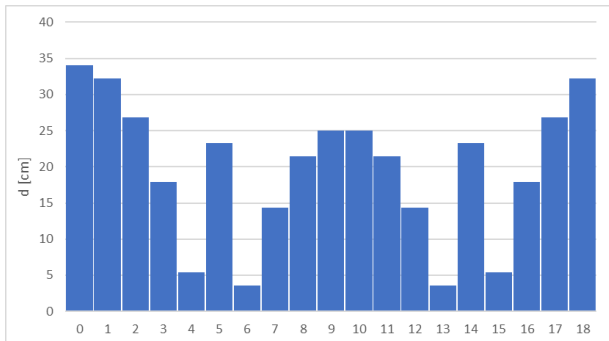


Figura 14: Representação em corte do QRD.

Além do cálculo de difusores planos (unidimensionais), a planilha também contém a opção de difusores bidimensionais, com dispersão uniforme no eixo-x e eixo-z. Para a mudança do cálculo, basta selecionar a opção na caixa acima dos valores a serem inseridos. A representação do QRD é atualizada automaticamente, tomando a forma de grelha característica do difusor (vide Figura 15). Devido a variação de profundidade no eixo-z, foi incluída a opção de selecionar qual linha o corte irá representar.

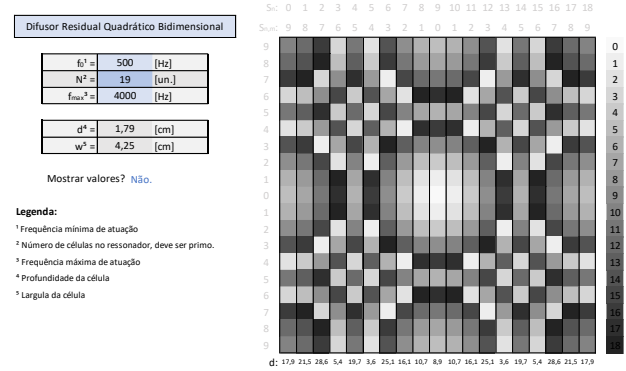


Figura 15: Dimensionamento e representação de vista frontal do QRD bidimensional.

3.6 Cálculos modais para salas retangulares

Por último, em outra etapa do condicionamento acústico, é abordado o estudo de acústica modal para salas retangulares. Os cálculos utilizados nessa planilha também foram retirados do livro editado por Ballou [7], *Handbook for Sound Engineers*. Ao inserir as dimensões e o tempo de reverberação da sala estudada, são apresentadas na planilha as frequências de transição entre as três regiões do espectro sonoro. Nesse caso, deve ser enfatizada a menor frequência de ressonância (9.1) e a frequência de Schröder (9.2), que delimitam a região de domínio dos modos acústicos. Sendo elas

$$f_1 = \frac{c}{2L}, \quad (9.1)$$

em que c é a velocidade do som no ar (m/s) e L a maior dimensão da sala (m). E

$$f_s = 1896 \sqrt{\frac{TR}{V}}, \quad (9.2)$$

em que TR é o tempo de reverberação inserido (s) e V o volume da sala (m^3) calculado a partir das três dimensões preenchidas. Além das frequências de transição, outra tabela é responsável por calcular 125 frequências modais, tanto axiais, quanto tangenciais e oblíquas. Para isso, utiliza-se a seguinte equação

$$f = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{p}{L}\right)^2 + \left(\frac{q}{W}\right)^2 + \left(\frac{r}{H}\right)^2}, \quad (10)$$

onde c é a velocidade do som no ar (m/s), L , W e H são respectivamente o comprimento, largura e altura da sala (m) e p , q e r são números



inteiros nos respectivos eixos x, y e z. A tabela com os cálculos fica disponível para uma consulta mais minuciosa (vide Figura 16), com discretização dos modos e com uma coluna indicando o espaçamento entre as frequências modais, ressaltando os casos em que os modos estão muito próximos ou muito distantes um dos outros.

Cálculo dos Modos									
Seq.	Parâmetros			Modo	Axiais	Tang.	Oblíq.	Ordem	Dif.
	p	q	r	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]	[Hz]
1	0	0	0	0,0	36,0	56,4	79,1	36,0	-
2	0	0	1	55,5	43,3	66,2	100,7	43,3	-
3	0	0	2	111,0	55,5	70,4	109,1	55,5	12,1
4	0	0	3	166,5	72,1	84,1	124,5	56,4	0,9
5	0	0	4	221,9	86,7	90,9	125,6	66,2	9,8
6	0	1	0	43,3	108,1	93,9	129,0	70,4	4,3
7	0	2	0	86,7	111,0	102,9	139,2	72,1	1,6
8	0	3	0	130,0	130,0	112,7	145,4	79,1	7,0
9	0	4	0	173,4	144,1	116,5	145,9	84,1	5,0
10	1	0	0	36,0	166,5	116,7	149,3	86,7	2,6
11	2	0	0	72,1	173,4	119,1	158,2	90,9	4,2

...

Figura 16: Tabela com cálculo de frequências modais e espaçamento entre frequências.

Além da tabela, é disponibilizado um gráfico com o número de modos por frequência, com a opção de apresentar apenas os modos axiais, tangenciais ou oblíquos, assim como outras combinações desejadas para a análise. Outro gráfico disponibilizado para consulta apresenta a densidade modal por 1/3 de bandas de oitava, sendo possível assim avaliar a curva dos modos pelos critérios de Bonello indicados para consulta na planilha. A diagramação desse conteúdo pode ser observada na Figura 17.

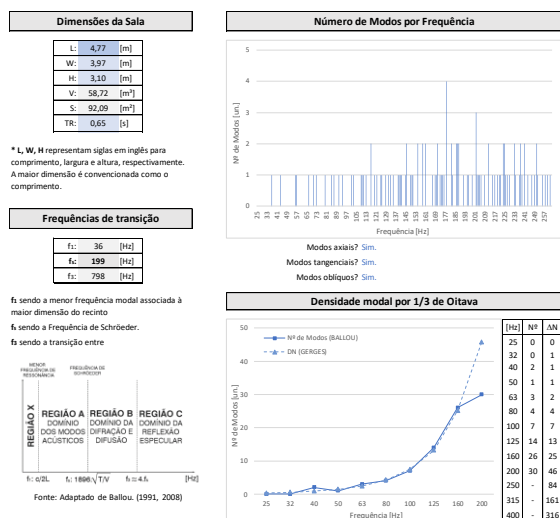


Figura 17: Cálculos modais e gráficos gerados.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho tem como objetivo auxiliar no ensino das disciplinas de acústica e no desenvolvimento de projetos que tenham a acústica em mente. Apesar de recentes, pode-se dizer que as ferramentas têm mostrado resultados satisfatórios entre os discentes, que puderam visualizar e acompanhar os processos envolvidos nos cálculos sem que estes impeçam o aprendizado dos discentes. Há espaço para inúmeras melhorias nas planilhas apresentadas, visto que esse é um trabalho contínuo em que o principal obstáculo é manter o equilíbrio entre uma ferramenta acessível e didática, mas que ofereça recursos práticos para sua utilização.

Para trabalhos futuros, pode-se destacar o desenvolvimento de outras planilhas, melhorias no acesso, *download*, manuseio e compartilhamento das planilhas existentes e o desenvolvimento de mais exercícios que utilizem as planilhas e incentive seu manuseio pelos discentes.

5. AGRADECIMENTOS

Cabe aqui agradecer à Universidade Federal de Minas Gerais e a Pró-Reitoria de Graduação, que através do projeto de monitoria e de produção de material didático fez possível a realização dessas ferramentas.

Também gostaríamos de agradecer a cooperação e questionamentos dos participantes nas disciplinas. E por último, um agradecimento especial ao Julian Geiger Nunes, pela atenção e criação do site onde hoje estão disponíveis todas as planilhas apresentadas.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10151. Acústica – Medição e avaliação de níveis de pressão sonora em áreas habitadas. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152. Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.
- [3] GERGES, Samir N.Y. Ruído: fundamentos e Controle. Florianópolis, S.N.Y. Gerges, 1992, 2000.

[4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 12.179 - Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

[5] BISTAFA, S. Acústica aplicada ao controle de ruído. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

[6] BERANEK, L. L. Concert halls and opera houses: music, acoustics, and architecture. 2nd. ed. New York: Springer, 2004.

[7] BALLOU, Glen M. (Editor) Handbook for sound engineers. 3rd ed. Boston: Focal, 2002.