



Centro Universitário de Brasília - UNICEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Curso: Engenharia Civil

DANIEL TEMÓTEO PEREIRA DA COSTA

Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo.

Brasília
2019

DANIEL TEMÓTEO P. COSTA

Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo.

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Dr. Sérgio Garavelli.

Brasília
2019

DANIEL TEMÓTEO P. COSTA

Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo.

Trabalho de Curso apresentado como um dos requisitos para a conclusão do curso de Engenharia Civil do UniCEUB - Centro Universitário de Brasília.

Orientador: Dr. Sérgio Garavelli.

Brasília, 5 de fevereiro 2019.

Banca Examinadora

Dr. Sérgio Garavelli
Orientador

Eng^o. Civil: Erika Regina Costa Castro.
Examinador Interno

Eng^o. Civil: Jairo Furtado Nogueira.
Examinador Interno

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me guiou e amparou nesta caminhada, dando-me sabedoria e discernimento para persistir mesmo perante os obstáculos.

Aos meus pais, Kátia Temóteo Eucaria P. da Costa e Manoel Temóteo da Costa, por sempre acreditarem em mim, oferecendo-me todo incentivo, cuidado e apoio.

À minhas irmãs, Dhébora Santiago e Raquel Temóteo, por me serem grades exemplos e me ajudarem a ser melhor a cada dia.

A todos os meus amigos que me ajudaram de inúmeras formas, em especial, Pedro Massom e Raissa Freire, que mais que uma amiga me deu apoio e teve paciência corrigindo meus textos. E meus colegas de faculdade pelos momentos de companheirismo, aprendizagem e farras, e que de alguma forma estão presentes neste trabalho.

Em especial ao meu orientador Sérgio Garavelli, pela incansável paciência, disposição, dedicação e confiança que sempre atencioso a minha situação contribuiu muito com a realização desse trabalho.

E por fim, agradeço toda a equipe de professores e funcionários do UniCEUB por todo aprendizado durante a caminhada acadêmica.

“Eu faço da dificuldade a minha
motivação. A volta por cima, vem na
continuação”

(Charlie Brown Jr)

RESUMO

Ambientes escolares devem proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento de suas práticas. Devendo atender alguns critérios, dentre eles, a qualidade acústica mostra-se bastante relevante, tendo em vista que no processo de ensino-aprendizagem requer a escuta e compreensão da fala em todos os pontos do ambiente. Este trabalho apresenta um estudo acústico realizado no auditório de uso múltiplo, de uma escola pública do Distrito Federal. O estudo consistiu em avaliar as condições e conforto acústico atuais e propor alterações que visem melhorar estas condições. Para tanto foram analisados três parâmetros acústicos, som residual, tempo de reverberação, visando interpretar o comportamento das ondas sonoras em seu interior. Utilizou-se as curvas-critérios de ruídos, Noise Critéria, para classificação do nível de som residual. Os tempos de reverberação foram determinados experimentalmente, através de medidas *in situ* e calculados teoricamente, através da fórmula de Sabine. Os parâmetros obtidos foram comparados com os apresentados por normas da ABNT, os resultados indicam que as condições de conforto acústico não são as ideais. O som residual, assim como o tempo de reverberação apresentaram valores acima dos recomendados pelas normas, através do levantamento do coeficiente de absorção sonora de cada material e das superfícies aparentes do auditório, para efeito dos cálculos de tempo de reverberação, foi elaborada uma proposta de adequação para a melhoria da qualidade acústica do ambiente.

Palavras-chave: Ambientes escolares, Qualidade acústica, Parâmetros acústicos, Som residual e Reverberação.

ABSTRACT

School environments must be enabled in order to provide appropriate conditions for the development of their practices. Some criteria should always be met, among these, the acoustic quality is pretty relevant, whereas that the teaching-learning process requires the listening and understanding of speech in all points of the environment. This essay presents an acoustic study carried out in the multiple use auditorium of a public school in the Federal District. The research consisted in evaluating the current acoustic conditions and propose changes that aim to improve these conditions. Therefore, three acoustic parameters, residual sound, reverberation time and space geometry were analysed in order to interpret the behaviour of the sound waves inside the room. The noise criteria curves or Noise Criteria were used to classify the residual sound level. The reverberation times were determined experimentally, through in situ measurements and theoretically calculated, using the formulas of Sabine. The obtained parameters were compared with those presented by ABNT norms and the results indicated that the acoustic comfort conditions were not ideal. The residual sound, as well as the reverberation time, presented values above those recommended by the norms, through the sound absorption coefficient survey of each material and the apparent surfaces of the auditorium. By means of the reverberation time calculations, a proposal of adequacy for the improvement of the acoustic quality of the environment was elaborated.

Key words: School environments, Acoustic quality, Acoustic parameters, Residual sound and Reverberation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Caminhos de uma onda sonora	18
Figura 2 – Figura tempo de reverberação	19
Figura 3 – Figura TR ótimo	21
Figura 4 – Coloração da reverberação.....	21
Figura 5 – Localização da escola identificando a área do auditório.....	23
Figura 6 – Planta baixa auditório	24
Figura 7 – Interior auditório	25
Figura 8 – Medidor	26
Figura 9 – Balão 18	26
Figura 10 – Equipamento.....	26
Figura 11 – Pontos de medição tempo de reverberação	27
Figura 12 – Curva NC do auditório.....	29
Figura 13 – Placas Acústicas Sonex illtec Perfilado	32
Figura 14 – Figura coloração da reverberação em função da frequência (Hz)	35
Figura 15 – Coloração da reverberação em porcentagem escala logarítmica	35
Figura 16 – Coloração da reverberação pós alterações em escala logarítmica	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Níveis recomendados para tipos de ambiente.....	16
Tabela 2 – Curva de avaliação de ruído (NC).	17
Tabela 3 – Valores de k e n	20
Tabela 4 – Som por frequência	28
Tabela 5 – Tempo de reverberação medidos.....	30
Tabela 6 – Planilha tempo de reverberação situação atual	31
Tabela 7 – Planilha cálculo de tempo de reverberação c/ alterações propostas	33
Tabela 8 – Planilha tempo de reverberação material alternativo	33

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

TR – Tempo de Reverberação

TR_o – Tempo de Reverberação Ótimo

NBR – Norma Brasileira

S/N – Relação Sinal-Ruído

NC – *Noise Criteria*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral.....	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
3.1	Introdução.....	13
3.1.1	A importância da acústica em ambientes de ensino	14
3.2	Parâmetros acústicos	16
3.2.1	O som residual e o Noise Criteria (NC)	16
3.2.2	Tempo de reverberação.....	17
4	METODOLOGIA.....	22
4.1	Local do Estudo	23
4.2	Levantamento físico.....	24
4.3	Parâmetros acústicos analisados.....	25
4.4	Equipamentos e softwares utilizados	25
4.5	Descrição do procedimento	26
5	ANÁLISES E RESULTADOS.....	28
5.1.1	Som residual.....	28
5.1.2	Noise Criteria	28
5.2	Tempo de reverberação.....	29
5.3	Tempo de reverberação teórico (Sabine e Eyring).....	30
5.4	Proposta de adequação acústica	31
5.5	Coloração da reverberação.....	34
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	37
6.1	Conclusões.....	37
6.2	Sugestões para pesquisas futuras.....	38
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	39
I.	APÊNDICE	41

1 INTRODUÇÃO

Acústica é a ciência do som e da audição, trata da qualidade sônica de recintos e de edificações, da transmissão do som pela voz, por instrumentos musicais ou por meios elétricos (SADIE, 1994). Também descrita como o conjunto de fenômenos de reflexões e absorções sonoras que, num dado ambiente, podem favorecer ou prejudicar a boa audição.

Considerando isso, é evidente sua importância no tocante ao desempenho de locais destinados à comunicação. A transmissão da mensagem é essencial em espaços destinados a palestras, reuniões, eventos ou ensino, como auditórios, salas de conferências ou salas de aula, os quais podem ser otimizados com a aplicação de análise acústica.

Quanto à ambientes escolares, é significativa a necessidade do estudo acústico, em razão da sua finalidade de transmitir conhecimento por meio da fala, carece que a inteligibilidade do discurso não seja afetada de forma agressiva pela reverberação local e o som residual.

Além de prejudicar a concentração e o decorrente aprendizado do aluno, condições de conforto acústico inadequadas pode comprometer a saúde vocal dos professores, provocando disfunções da voz e problemas relativos à audição e perturbações no sistema nervoso. Por ser um tema com amplas aplicações e de complexidade em função da variedade de modos através dos quais o som é emitido, refletido, difundido e absorvido.

Vale ressaltar o fato de a acústica ser pouco abordada na grade curricular acadêmica somado ao progressivo investimento da indústria em matérias de revestimento que atendam às necessidades acústicas das edificações modernas, proporcionando um bom isolamento e qualidade acústica, em função da atual percepção sobre suas importâncias, projetos acústicos se tornam gradativamente mais visados.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Este estudo teve como objetivo geral analisar as condições de conforto acústico do auditório da Escola classe 502, de Samambaia DF, e propor soluções de adequações.

2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

- Realizar as medições do som residual, por meio do parâmetro *Leq* e gerar as curvas do *Noise Critéria (NC)*, conforme NBR 10.152 (ABNT, 2017).
- Comparar os valores obtidos dos parâmetros *Leq* e *NC* com os recomendados pela NBR 10.152
- Avaliar o tempo de reverberação, através de medição *in situ*.
- Realizar o estudo geométrico-acústico do recinto e calcular por meio de modelo teórico o tempo de reverberação.
- Propor adequações, caso necessário, em relação ao isolamento e tratamento acústico, visando a melhor das condições de conforto acústico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As propriedades acústicas de um recinto influenciam de modo direto o comportamento das ondas sonoras, portanto afetando a percepção final sistema auditivo humano. O entendimento e manipulação dos parâmetros acústicos em ambientes de ensino afetam diretamente a qualidade da mensagem transmitida, visto que entre emissor e o receptor há a mensagem e a necessidade de que esse canal permita o trânsito adequado da informação, sendo assim possível a compreensão e interpretação.

3.1 Introdução

Em tempos antigos, não havia eletricidade, microfones, mesas de som, amplificadores ou alto-falantes. Todos estes instrumentos foram criados no final do século XIX, entre 550 a.C. e 220 a.C a Grécia antiga, onde não existia a sonorização da forma que conhecemos hoje. No entanto, locais destinados a grandes reuniões e seus famosos teatros que comportavam inúmeros festivais fizeram parte da cultura grega, em alguns casos envolveram milhares de pessoas.

Sobre esta perspectiva, inicia-se uma grande inovação nas características dos ambientes, de forma que a mesma fosse propícia ao som. Por volta de 2000 anos atrás, os gregos lançaram as bases da acústica ao fazerem seus teatros. Estima-se que havia um para cada grande cidade, todos eles portando características comuns, sendo algumas delas:

- Localização: localizados em zonas com nível de som residual baixo, pontos remotos das cidades, afastados dos grandes ambientes ruidosos, tal como os centros comerciais. Portanto, sendo estes locais bastantes silenciosos.

- Projetos a favor do vento: construídos de modo que a corrente de vento passasse por trás do palco, em direção à plateia. De forma que não só aliviava as altas temperaturas da região como também favorecia a transmissão das palavras, que tem o ar como meio de propagação.

- Conchas acústicas: alguns teatros continham atrás do palco, estruturas de forma semicircular, com o propósito de refletir o som propagado dentro dele em direção aos expectadores que contribuía para aumentar a eficiência acústica.

- Plateia posta em degraus: com a percepção da reflexão, foi notado que a inclinação do terreno maximizava a intensidade do som refletido, além disso, vale salientar que na disposição em degraus cada ouvinte dispõe do caminho livre entre o palco e seus ouvidos, sofrendo perdas na propagação do som em função de barreiras humanas.

Trazendo para os dias atuais, as questões acústicas são outras: as reuniões antes feitas ao ar livre se encontram agora em ambientes fechados, não necessitando mais de se localizarem em pontos remotos da cidade. Porém, há uma problemática nova diante do desenvolvimento da sociedade e das grandes cidades, afinal os ambientes urbanos proporcionam ao homem uma condição habituada com o ruído ambiental em níveis elevados.

Os problemas atuais precisam de soluções que impeçam o som exterior aos teatros ou auditórios entrem em seus interiores e que visem a qualidade acústica interna de forma que garanta tanto a compreensão da fala, quanto para que a música seja agradável. Portanto, entrando assim nos conceitos de isolamento e tratamento acústico.

3.1.1 A importância da acústica em ambientes de ensino

Os espaços destinados a palestras, reuniões eventos ou ensino, como auditórios, salas de conferência e salas de aulas, são designados para transmissão de conhecimento, através da palavra falada.

No Brasil as redes de ensino seguem esse modelo no ensino infantil, fundamental e médio. Por meio da palavra falada os professores costumam disseminar o conteúdo para seus alunos. Em decorrência disso é indispensável ressaltar que, uma vez que a comunicação se encontra comprometida, o aprendizado sofre consequências, dado que os alunos podem chegar a escutar o que é dito pelo professor, porém, por várias questões, como perda de inteligibilidade, que é a precisão em distinguir os sons pronunciados, assim comprometendo a compreensão da mensagem.

Tendo isso em vista a situação do ensino infantil é ainda mais delicada pelo fato da boa acústica ter uma maior influência no aprendizado das crianças pequenas, que de certa forma são incapazes de deduzir por contexto. Por ainda não

terem adquirido um vocabulário mais amplo, quando perdem algumas palavras discursadas pelo pedagogo, elas são menos aptas em relação os alunos com idade superior para “complementar” os pensamentos perdidos.

Vários fatores interferem na qualidade do ambiente de ensino, a inteligibilidade do discurso em um ambiente fechado é afetada especialmente pela reverberação e pelo som residual, sendo estes parâmetros de grande importância na análise acústica nesse seguimento.

As pesquisas do físico norte-americano Wallace C. Sabine, 1888 com absorção sonora dentro de salas de aula o levaram a solidificar a relação da reverberação do ambiente com a presença de absorvedores de som. Ele observou que se ouvia melhor com maior número de alunos na sala ou com almofadas sobre cadeiras e janelas abertas (CARVALHO, 2010). A partir de Sabine, o tempo de reverberação passou a ser definido como intervalo de tempo necessário para que o nível sonoro diminua 60 decibéis, tendo como referência o instante em que a fonte sonora cessa.

Existem vários métodos para estimar ou prever a inteligibilidade da fala, para salas de aulas pode-se deduzir por porcentagem através do tempo de reverberação e da relação sinal ruído (S/N). Sendo essas relações uma comparação entre o nível sonoro da voz do professor em dB, menos o nível do som residual na sala em dB, sendo esse valor atribuído a S/N em dB. Quanto maior a S/N, maior é a inteligibilidade da fala. Se a S/N é negativa (o som residual é maior que a voz do professor), assim torna mais difícil o professor ser compreendido.

No Brasil a ABNT trata da acústica de ambientes internos e estuda a partir do tempo de reverberação e o nível do ruído interno, a NBR 10.152 (ABNT, 2017) estipula valores sonoros limite recomendados para ambientes internos de uma edificação de acordo com sua finalidade de uso, porém os desconhecimentos da necessidade de um projeto acústico aliado a falta de leis que façam as normas técnicas serem seguidas, fiscalizando a adequação do ambiente para com sua finalidade, acaba deixando a rede de ensino alheia a essa problemática que afeta negativamente a aprendizagem das crianças, dificultando a atenção, compreensão não apenas da fala quanto da leitura e também pode prejudicar a saúde vocal dos

professores, desencadeando distúrbios de voz, além de problemas relacionados à audição e distúrbios no sistema nervoso.

3.2 Parâmetros acústicos

Parâmetros acústicos são propriedades acústicas que interferem nos ambientes, determinando assim, sua qualidade para a execução ou reprodução de música ou fala (VALLE, 2009, p.89).

3.2.1 O som residual e o Noise Criteria (NC)

O som é uma percepção sensorial e o ruído é visto como um som indesejado resultado da mistura de vários tons cujas frequências diferem entre si. Estudos recentes comprovam que a exposição ao ruído para o ser humano é prejudicial à saúde.

Com o objetivo de evitar danos à saúde pública, causado pelo excesso de ruídos, provenientes das máquinas e atividades do mundo moderno, vários países tem estabelecido normas no sentido de controlar os níveis de ruídos exagerados nos diversos ambientes. No Brasil a ABNT por meio da NBR 10.152, define os níveis sonoros para conforto e os níveis sonoros aceitáveis para diversos ambientes (COSTA, 2003). A Tabela 1 apresenta o valor de NC para um auditório com volume superior a 600 m³, destinado para transmissão da fala.

Tabela 1 – Limites sonoros recomendados para ambientes internos de uma edificação de acordo com sua finalidade de uso (dB(A))

Finalidade de uso	RLAeq	RLAeq _{max}	RLNC
Auditórios grandes (> 600 m ³)	30	35	25

Fonte: NBR 10.152 (2017, adaptado)

Os valores apresentados são baseados na medição do nível de pressão sonora em cada banda de oitava equivalente ponderado em A, L_{Aeq} , e utiliza as curvas critério de ruído, ou *Noise Criteria* curves NC. Plotando estes níveis numa figura, comparando então os resultados com as curvas NC padrão. A curva NC mais baixa, que não exceda o espectro de ruído plotado na figura, corresponde ao NC no ruído.

De acordo com NBR 10.152 é estipulado para auditórios com volumes superiores a 600 m³ o valor do RLNC é de 25 dB(A), com um nível de pressão sonora equivalente de 30 dB(A) nível máximo de 35 dB(A) para condições de audibilidade boa.

A Tabela 2 apresenta dos valores dos níveis de pressão sonora para as frequências, em bandas de oitavas, para a construção das curvas do NC (NBR 10.152).

Tabela 2 – Curva de avaliação de ruído (NC).

Curvas NC	Níveis de pressão sonora equivalentes, em dB, por bandas de 1/1 de oitava									
	16 Hz	31,5 Hz	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
70	90	90	84	79	75	72	71	70	68	68
65	90	88	80	75	71	68	65	64	63	62
60	90	85	77	71	66	63	60	59	58	57
55	89	82	74	67	62	58	56	54	53	52
50	87	79	71	64	58	54	51	49	48	47
45	85	76	67	60	54	49	46	44	43	42
40	84	74	64	56	50	44	41	39	38	37
35	82	71	60	52	45	40	36	34	33	32
30	81	68	57	48	41	35	32	29	28	27
25	80	65	54	44	37	31	27	24	22	22
20	79	63	50	40	33	26	22	20	17	16
15	78	61	47	36	28	22	18	14	12	11

NOTA 1 Os valores apresentados nesta tabela correspondem aos valores da Tabela 1 da ANSI/ASA S12.2-2008.

NOTA 2 Os níveis apresentados para as bandas de 16 Hz e 31,5 Hz e para as curvas NC-15, NC-55, NC-60, NC-65 e NC-70 são apenas de caráter informativo, portanto não são normativos aos limites fixados por esta norma.

Fonte: NBR 10.152 (2017)

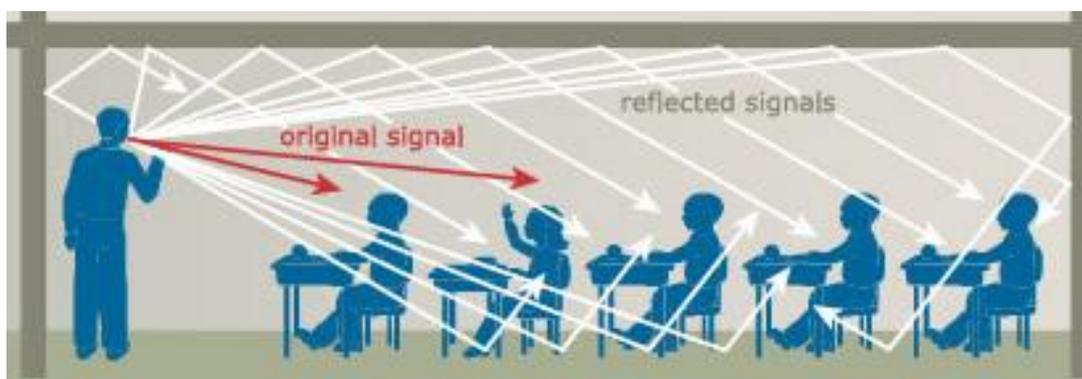
3.2.2 Tempo de reverberação

A reverberação entre os parâmetros acústicos encontra-se em destaque em estudos acústicos em ambientes fechados. Como as ondas sonoras se propagam de modo tridimensional entre o caminho da fonte até o receptor, pode existir alterações dessas ondas de acordo com as superfícies presentes em cada ambiente, dando

origem às ondas refletidas, que são diferentes das ondas diretas as quais não sofrem alterações, chegando sempre primeiro com o nível de pressão sonora maior. Em seguida, são recebidas as ondas provenientes das reflexões nas superfícies presentes, causando a sensação de prolongamento do som. A Figura 1 demonstra esses fenômenos.

“Tal persistência, devido às reflexões sucessivas do som pelas paredes, tem uma grande importância na determinação da qualidade acústica de um ambiente (COSTA, 2009, P44).”

Figura 1 – Caminhos de uma onda sonora



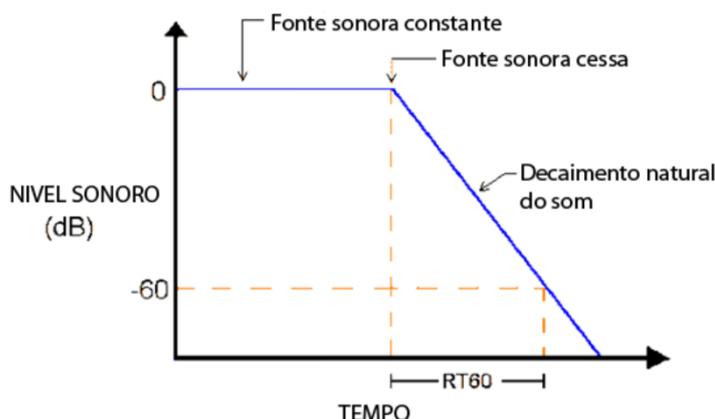
Fonte: Acústica Arquitetônica
(disponível em <http://www.ufrj.br/institutos/it/de/acidentes/voz5.htm>, acesso em 05/12/2018)

O tempo de reverberação conhecido como TR60 é intervalo de tempo em s, necessário para que o nível de intensidade de uma onda refletida decresça 60dB após o término da emissão de sua fonte. As experiências de Wallace Sabine com absorção sonora dentro de salas de aulas o levaram a solidificar a relação da reverberação do ambiente com a presença de absorvedores de som. Ele observou que se ouvia melhor com maior número de alunos na sala ou com almofadas sobre cadeiras e janelas abertas. (CARVALHO,2010).

“O tempo de reverberação foi definido por Sabine, como aquele necessário para que a intensidade energética do som residual, atinja um milionésimo de seu valor de regime inicial” (COSTA, 2009, pag. 57)

Tempo de reverberação longo é uma deficiência comum em salas de aula, idealmente, salas de aula devem ter TR60 na faixa de 0,4 - 0,6 segundos, mas muitas salas apresentam tempos superiores a um segundo. A Figura 2 apresenta o gráfico referente ao decaimento do tempo da onda sonora refletida.

Figura 2 – Figura tempo de reverberação TR60



Fonte: Somaovivo, 2010.

Sabine determinou empiricamente a relação entre o volume da sala, área e tempo de reverberação:

$$T_R = \frac{0,161 * V}{S_1 * \alpha_1 + S_2 * \alpha_2 + \dots S_n * \alpha_n}$$

Essa relação é utilizada para campos sonoros difusos, nome dado para campos sonoros com numerosas reflexões, na qual não há uma ampla absorção sonora, numericamente falando, α próximo a zero.

Onde T_R é o tempo de reverberação do recinto, em segundos, V o volume de sala em m^3 e $S_1, S_2, \dots S_n$ representam as áreas das superfícies internas do recinto em m^2 , afetadas por $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ que correspondem aos coeficientes de absorção sonora das várias superfícies internas e de mais elementos absorventes do ambiente em estudo.

Outras relações foram criadas, como a de Eyring, que define uma queda logarítmica de 60dB como tempo de reverberação, e usado quando há uma grande área de absorção sonora, $\bar{\alpha}$ maior que 0,3.

$$T_R = \frac{0,161 * V}{-2,3 * S * \log(1 - \alpha_m)}$$

Onde: T_R é o tempo de reverberação do recinto, em segundos, V o volume do recinto em m^3 , S a área total das superfícies interiores do recinto, em m^2 e α_m o coeficiente médio ponderado de absorção sonora das várias superfícies interiores do ambiente em estudo e de mais elementos absorventes nele contido.

Porém é importante salientar que uma reverberação excessiva ocasiona confusão e ininteligibilidade, enquanto uma reverberação baixa torna o ambiente surdo (seco), e o nível sonoro decresce muito rapidamente ao afastar-nos da fonte (COSTA, 2003). O que também é desfavorável para ambientes que visam à escuta e compreensão da fala em todos os pontos do ambiente.

À medida dos tempos de reverberação convencional de inúmeras salas, por meio de um oscilador de som puro de 512 Hz e um receptor gravador do nível sonoro, em função do tempo, permitiu a escolha do tempo de reverberação aconselhável T_0 para os ambientes destinados à audição, com o objetivo de se obter uma boa percepção dos diversos sons.

Assim Sabine e outros pesquisadores determinaram, para ambientes com mais de 500m³, a seguinte expressão para tempo de reverberação convencional aconselhável:

$$T_0 = KV^{1/n}$$

Onde os valores de (k) e (n) dependem da origem do som e registrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de k e n , que definem o tempo de reverberação aconselhável

Origem do som	k	n
Música direta	0,4	6
Música reproduzida	0,3	6
Linguagem	0,35(±10%)	8

Fonte: COSTA, 2003, p.63 (adaptado)

A NBR 12.179 (ABNT, 1992) recomenda valores de tempos ótimos de reverberação para a frequência de 500Hz em atribuição do volume do ambiente estudado e sua função. A Figura 3 retrata o tempo ótimo em relação ao volume, para variados tipos de ambientes.

Outro conceito importante na acústica de auditórios é a coloração da reverberação, que mostra como o tempo de reverberação varia para frequências diferentes de 500 Hz. Este parâmetro influencia no modo como o ouvinte percebe

tanto os sons graves quanto os agudos no ambiente. A Figura 4 apresenta exemplos de coloração de ambientes.

Figura 3 – Figura TR ótimo

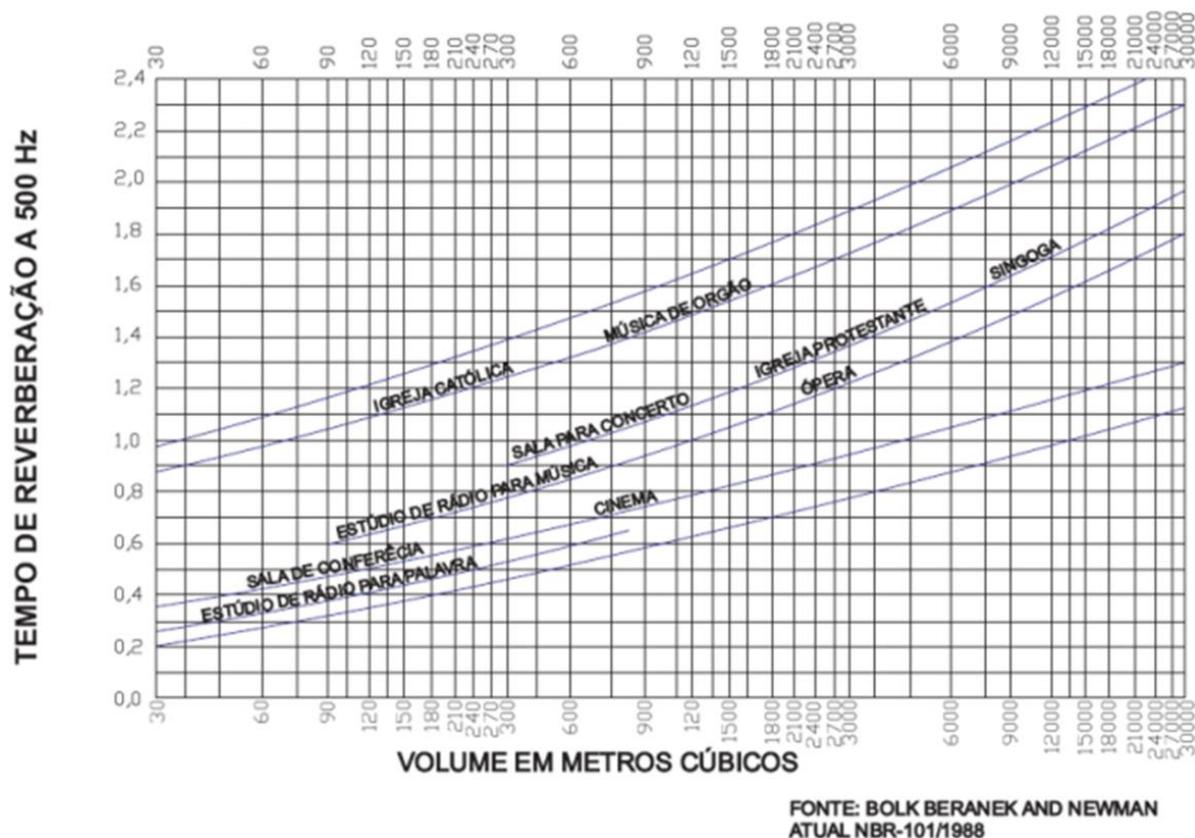
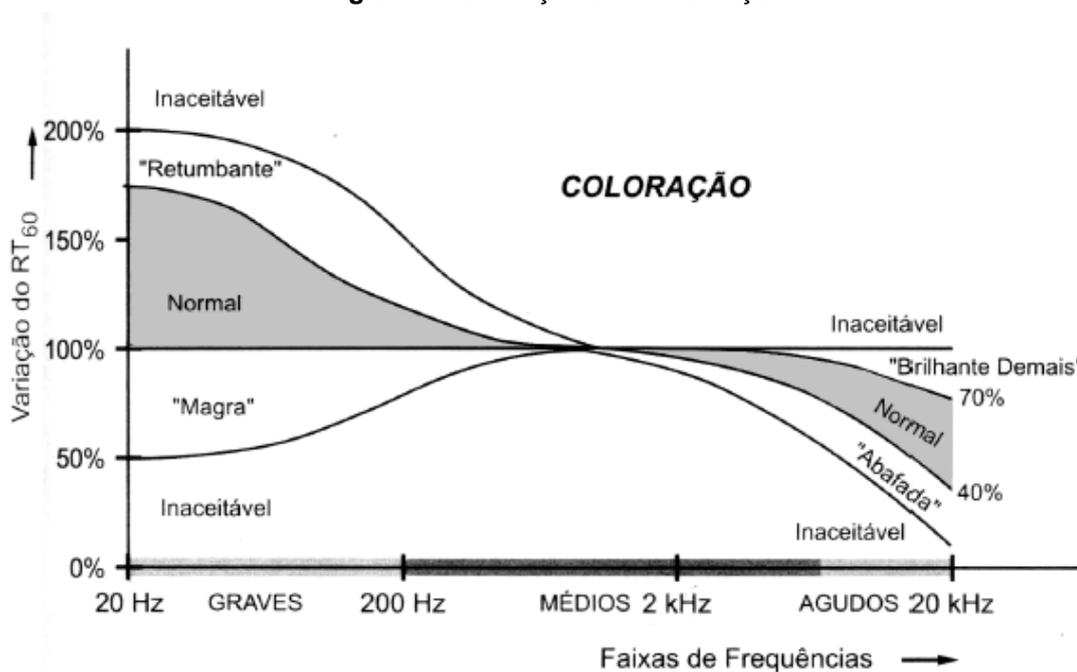


Figura 4 – Coloração da reverberação



(VALLE, 2009, p.98)

Como os coeficientes de absorção dos materiais variam conforme a frequência, é natural que o tempo de reverberação também varie com a frequência, e se cria uma coloração para o ambiente (VALLE, 2009). Uma sala cujo TR60 suba muito mais que 50% nos graves será "retumbante" ou "cavernosa". Se o tempo não subir nos graves, a sala soará "magra". Por outro lado, se não houver queda suficiente do RT60 nos agudos, a sala ficará "brilhante" demais ou "áspera", e se a queda nas altas frequências for excessiva, teremos uma sala "abafada" ou "escura".

Para que seja atingido o equilíbrio perfeito, é preciso que os índices médios de absorção na sala sejam escolhidos de modo que os tempos de reverberação para as várias frequências tenham os valores ideais, de modo a atingir o RT60 ideal nos médios e a coloração correta.

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada no presente trabalho analisa o desempenho acústico do auditório da escola classe 502. Descreve-se neste capítulo o formato do auditório, sua localização, sua geometria, e os materiais presentes nele. Concomitantemente, especifica os procedimentos adotados para realização das medições, os métodos utilizados durante a execução das medições, os materiais usados na pesquisa para a coleta de dados e descrição das equações adotadas.

4.1 Local do Estudo

A Figura 5 apresenta a localização da Escola, ao lado do auditório tem a quadra poliesportiva no pavimento inferior e salas de aula em ambos os pavimentos. As medições foram realizadas apenas no interior do auditório.

Figura 5 – Localização da escola identificando a área do auditório

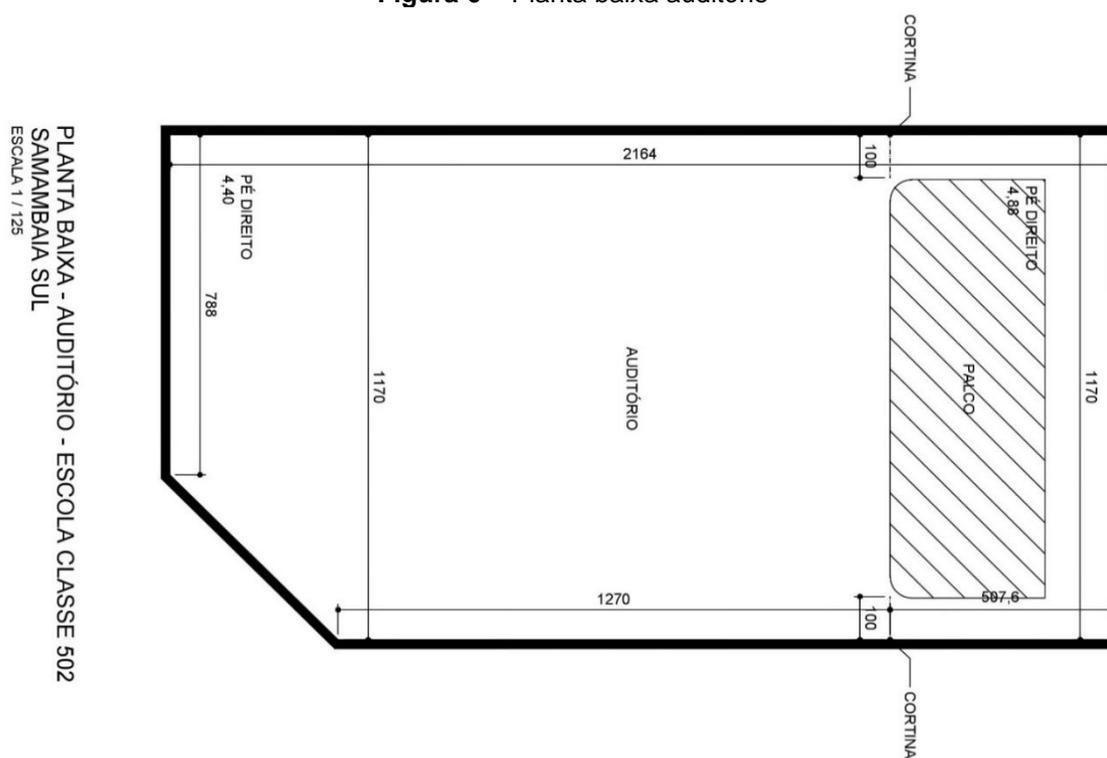


Fonte: <https://www.google.com.br/maps>

4.2 Levantamento físico

Por meio da visita *in loco* foi efetuado a medição do ambiente e contabilização dos equipamentos presentes no auditório. Além disso, foram identificados os materiais que compõe suas superfícies de piso, paredes e teto. Na Figura 4 está apresentada a planta baixa do auditório, e na Figura 6, uma foto representativa do mesmo.

Figura 6 – Planta baixa auditório



Fonte: Autor.

Figura 7 – Interior auditório

Fonte: Autor.

4.3 Parâmetros acústicos analisados

- Som residual:
 - ✓ Nível de pressão sonora interno
 - ✓ Noise criteria (NC)
- Tempo de reverberação:
 - ✓ tempo de reverberação TR60, médio por banda de frequência
 - ✓ estudo geométrico-acústico com cálculo de tempo de reverberação pela fórmula de Sabine e Eyring.
 - ✓ comparativo de tempo de reverberação com tempo de reverberação ótimo estabelecido na NBR 12.179(ABNT, 1992).

4.4 Equipamentos e softwares utilizados

Os equipamentos utilizados para análise dos parâmetros descritos estão apresentados nas Figuras 8, 9 e 10. A partir do medidor de pressão sonora, modelo solo, do fabricante 01dB dotado de um filtro de banda 1/1 de oitava implementado sobre um tripé com uma altura de 1,2m do piso com uma distância mínima de 1,5m das paredes. O equipamento foi conectado posteriormente a um computador onde

foi utilizado o software dBBat que realizou o processamento dos parâmetros acústicos medidos. Para a geração de ruído impulsivo, foram usados balões número 18 (18 polegadas) como fonte sonora.

Figura 8 – Medidor



Figura 9 – Balão 18



Figura 10 – Equipamento

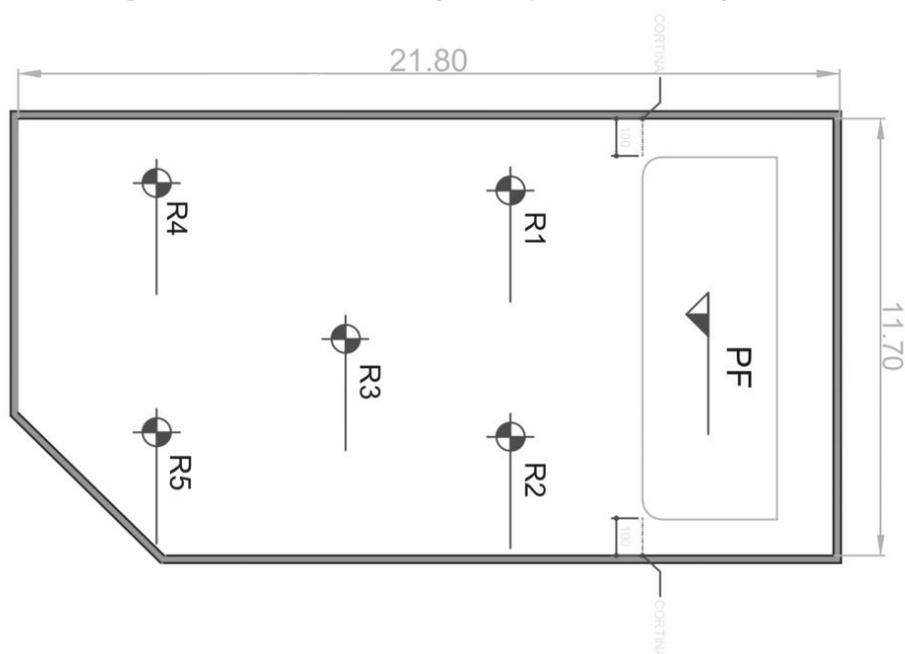


Fonte: Autor.

4.5 Descrição do procedimento

Na primeira parte, foi executada a medição do nível de pressão sonora interna sem funcionamento do auditório, mas com a escola em atividade normal. A medição foi realizada com o equipamento posicionado no centro do auditório, durante o tempo de 5 min.

As medições do TR, foram realizadas com o auditório também desocupado, em cinco pontos diferentes, com distâncias mínimas, de 1,5m entre si e 1m das paredes laterais. Dado que em cada ponto foi realizada três medidas. O método utilizado foi o do ruído impulsivo, através de estouro de três balões tamanho “gigante”, por ponto de captação. A figura 11 mostra os pontos onde foram realizadas as medições. PF é a posição da fonte e R1, R2, R3, R4 e R5 representa posição dos receptores.

Figura 11 – Pontos de medição tempo de reverberação

Fonte: Autor, 2018

E na terceira parte, foi realizado o cálculo do tempo de reverberação utilizando a fórmula de Sabine de acordo com a NBR 12.179, com os coeficientes de absorção dos materiais expostos no ambiente definidos a exemplo (cadeiras; porta de metal e vidro; meda de madeira reboco liso e gesso, entre outros. Foi utilizada uma planilha Excel, junto aos cálculos de suas respectivas áreas, para a realização dos cálculos de tempo de reverberação para as frequências de 250Hz, 500Hz, 1kHz e 2kHz.

Por fim, após a realização do cálculo de tempo de reverberação TR foi possível realizar a comparação da situação atual do auditório com o parâmetro do tempo de reverberação ótimo TRO, estabelecido na NBR 12.179. A diferença entre (TRO –TR) deve ser a menor possível.

5 ANÁLISES E RESULTADOS

O presente tópico trata da descrição dos dados e discussão dos resultados obtidos a partir da análise do comportamento acústico do auditório estudado.

5.1.1 Som residual

Analisou-se o som residual do auditório com o mesmo se encontrando vazio, em horário de funcionamento normal da escola. A análise trouxe resultados insatisfatórios para o uso do auditório em questão. O som residual medido dentro do auditório é de 60 dB. Segundo a NBR 10.152 (ABNT, 2017) o valor recomendado para auditórios, salas de conferência e de uso múltiplo, está fixado em 30 dB(A) e 35 dB (A) o nível máximo. A tabela 4 apresenta o ruído residual em bandas de oitavas.

Tabela 4 – Som residual em bandas de oitavas

Hz	dB
125	51,5
250	44,2
500	47,3
1 k	56,3
2 k	50,0
4 k	38,4
Global Lin*	58,8
Leq(A)	57,8 dB(A)

Fonte: Autor, 2018

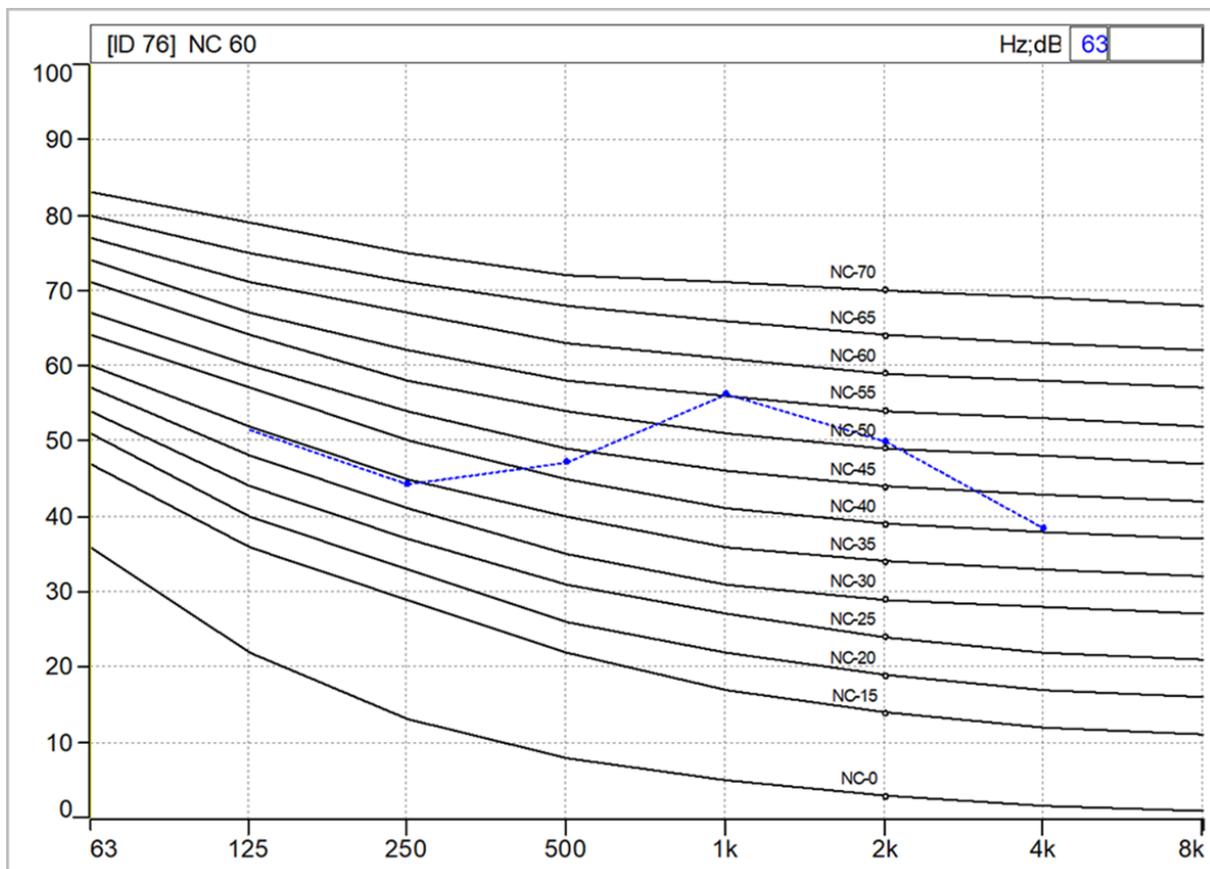
5.1.2 Noise Criteria

A figura 12 apresenta o índice NC medido no auditório. A curva Noise-Criteria em que o estúdio se encaixa corresponde a NC-60. Segundo a NBR 10.152 (ABNT, 2017) o valor recomendado do NC para auditórios, o NC deveria ser 25 dB(A). Os níveis superiores aos estabelecidos pela norma são considerados de desconforto, sem necessariamente implicar em risco de danos à saúde.

Este valor de NC elevado demonstra que o auditório não apresenta um isolamento acústico adequado e que o nível de som residual está elevado. A baixa qualidade de isolamento acústico nas paredes laterais, por causa de 4 entradas de

ventilação, duas em cada parede foi um fator preponderante para definir o nível de ruído mais alto

Figura 12 – Curva NC do auditório



Fonte: Autor, 2018

5.2 Tempo de reverberação

A medição do tempo de reverberação TR60 com o auditório desocupado, nos cinco pontos diferentes sendo três medidas para cada ponto, é apresentada na tabela 5 junto a média do TR60 para cada frequência e o desvio padrão médio. O tempo de reverberação médio para a frequência de 500 Hz é de 2,62 segundos. De acordo com a NBR 12.179(ABNT,1992), esse valor é inadequado para espaços de 1100m³ que desempenha a função de auditório, onde ela sugere que esse tempo seja aproximadamente 0,8 segundos em 500 Hz, o que denota que o tempo de reverberação do auditório ultrapassa mais de três vezes o valor recomendado.

Tabela 5 – Tempo de reverberação medidos

Frequência	Médias das medias (S)					Média	Desvio padrão
	1	2	3	4	5		
63Hz	2,03	1,97	2,60	2,90	3,11	2,56	0,70
125Hz	2,23	2,35	2,54	2,13	2,25	2,30	0,15
250Hz	2,56	2,45	2,77	2,59	2,55	2,58	0,19
500Hz	2,62	2,49	2,66	2,63	2,68	2,62	0,10
1KHz	2,58	2,61	2,73	2,74	2,68	2,67	0,09
2KHz	2,33	2,39	2,33	2,40	2,51	2,39	0,10
4KHz	1,91	1,86	1,84	1,88	1,90	1,88	0,03

Fonte: Autor, 2018

A frequência de 63Hz apresentou um desvio padrão muito acima dos demais, como essa frequência não tem muita relevância para na transmissão da palavra falada, a mesma foi descartada na figura da frequência e tempo de reverberação.

A análise realizada comprova a uma reverberação alta no auditório. Segundo Barron(1993) citado por Moscati (2013), a duração das vogais é maior que a das consoantes e por conta disso, a compreensão ou inteligibilidade da fala diminui em ambientes que apresentem longo tempo de reverberação, pois ocorre o mascaramento do som das consoantes pelo som das vogais.

Perante o analisado, verifica-se que inteligibilidade da fala no auditório está sendo afetada, em decorrência do tempo de reverberação encontrado ser muito acima do tempo ótimo sugerido pela norma.

5.3 Tempo de reverberação teórico (Sabine e Eyring)

Os coeficientes de absorção dos materiais expostos no ambiente foram levantados junto à medição das áreas de superfícies do auditório. A tabela 6 descreve os materiais que compõe o interior do auditório e demonstra os valores encontrados dos coeficientes de absorção sonora, para as frequências de 250Hz, 500Hz, 1 kHz e 2 kHz, juntamente com os valores de TR60 medidos através da formula de Sabine como especificado na NBR 12.179 (ABNT, 1992).

Tabela 6 – Planilha tempo de reverberação situação atual

Auditório		larg.(m)	Comp.(m)	Alt.(m)	AT(m ²)	V (m ³)
		11,6	21,6	4,4	792,2	1100,6
		Coeficiente de absorção				Absorção
Material	Área	Frequência (Hz)				500 Hz
		250	500	1000	2000	
Cadeiras	125	0,16	0,2	0,22	0,25	25
Cerâmica	220	0,01	0,01	0,02	0,02	2,2
Cortina Alg. Com Dobras 50%	20	0,31	0,49	0,81	0,66	9,8
Forro de Gesso Pesado	200	0,02	0,03	0,04	0,05	6,0
Lambel de Madeira	142	0,07	0,06	0,06	0,06	8,52
Reboco Liso	270	0,02	0,02	0,02	0,03	5,4
Superfícies Metálicas	24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24
Vidraça de janela	22	0,04	0,03	0,02	0,02	0,66
SITUAÇÃO ATUAL						
Frequência (Hz) =		250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	
RT60 (Sabine) (s) =		3,61	3,06	2,5	2,32	
Média RT60 (Sabine)		2,87 s				

Fonte: Autor, 2018

O cálculo do tempo de reverberação da situação atual do auditório foi realizado levando-se em consideração os materiais escritos na tabela acima. O valor encontrado para o tempo de reverberação médio na fórmula de Sabine foi de 2,87 segundos. Conforme foi elucidado anteriormente, para ambientes com mais de 500m³, a equação para tempo de reverberação convencional aconselhável. ($T_0 = KV^{1/n}$). Onde para linguagem (K) e (n) tem valor de 0,35 e 8, respectivamente e (V) e refere ao volume do respectivo ambiente. Desse modo o tempo reverberação convencional ótimo para o auditório em questão é de 0,84s. Frente a esse raciocínio o tempo de reverberação do auditório se prova mais uma vez inadequado para desempenhar sua função com um volume de 1100m³.

5.4 Proposta de adequação acústica

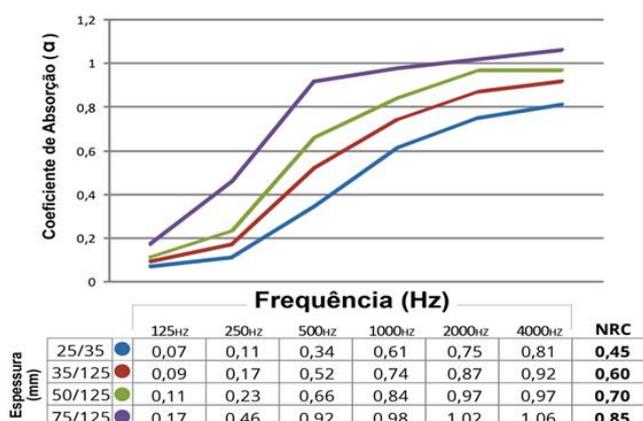
O presente tópico trata da discussão dos resultados obtidos a partir da análise do comportamento acústico do auditório estudado. Além do diagnóstico da situação atual fez-se necessário uma proposta de adequações para a melhoria da qualidade acústica do ambiente. Juntamente as especificações de matérias e alterações estruturais que realizem o tratamento e condicionamento acústico do auditório, reduzindo o nível de som residual e o tempo de reverberação.

Para melhorar a situação do local se propõe as seguintes modificações
 I)_ Redução da altura de pé direito do auditório para 3,8 metros, diminuído assim seu volume; II)_ A alteração do forro de gesso pesado utilizada atualmente no teto;
 III)_ O fechamento das entradas de ventilação nas paredes laterais; IV)_ A utilização de cortinas na parede lateral direita que quando fechadas não isolam totalmente o som, porém além de melhorarem o tempo de reverberação contribuem para o isolamento do som residual oriundo da quadra poliesportiva ao lado.

Placas Acústicas Sonex illtec | Perfilado® é um material em alternativa ideal ao forro gesso pesado. “Utilizando o princípio das cunhas anecóicas para multiplicar a área de absorção, o Sonex illtec possui excelente desempenho acústico, representando a melhor solução para equalização dos ambientes de áudio profissional, como estúdios de gravação, locução, rádio e TV.” - (OWA SONEX, FABRICANTE). Na Figura 13 estão apresentadas as placas acústicas.

Figura 13 – Placas Acústicas Sonex illtec | Perfilado

Detalhes Técnicos



Fonte: <http://www.owa.com.br/>

A Tabela 7 apresenta o cálculo do tempo de reverberação com as alterações sugeridas. Junto à relação da situação atual com a após tratamento.

Após a realização dos cálculos com as alterações indicadas, pode-se observar que houve melhoria no tempo de reverberação e no som residual. O TR60 médio calculado foi de 0,84s. O que colocaria o auditório nos padrões recomendados na NBR12.179 (ABNT, 1992).

Tabela 7 – Planilha cálculo de tempo de reverberação c/ alterações propostas

Planilha tempo de reverberação proposta 1							
Auditório/Proposta		larg.(m)	Comp.(m)	Alt.(m)	AT(m ²)	V (m ³)	
		11,6	21,6	3,4	725,9	850,4	
Material		Área	Coeficiente de absorção				Absorção
			Frequência (Hz)				
			250	500	1000	2000	
Cadeiras	125	0,16	0,2	0,22	0,25	25	
Cerâmica	220	0,01	0,01	0,02	0,02	2,2	
Cortina Alg. Com Dobras 50%	65	0,31	0,49	0,81	0,66	31,85	
Sonex illtec Perfilado - 30/75	200	0,17	0,52	0,74	0,87	104	
Lambril de Madeira	142	0,07	0,06	0,06	0,06	8,52	
Reboco Liso	170	0,02	0,02	0,02	0,03	3,4	
Superfícies Metálicas	24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24	
Vidraça de janela	22	0,04	0,03	0,02	0,02	0,66	
Absorção (Sabine) =		49,04	57,96	70,79	76,24		
SITUAÇÃO ATUAL							
Frequência (Hz) =		250Hz	500Hz	1kHz	2kHz		
RT60 (Sabine) (s) =		3,61	3,06	2,5	2,32		
Média RT60 (Sabine)(s)		2,87					
APÓS TRATAMENTO							
Frequência (Hz) =		250Hz	500Hz	1kHz	2kHz		
RT60 (Sabine) (s) =		1,5	0,78	0,56	0,51		
Média RT60 (Sabine) (s)		0,84					

Fonte: Autor, 2018

Frente à questão do auditório ser de uma instituição pública se faz necessário uma proposta alternativa que tenha um menor custo e que possa amenizar a situação atual. Atendendo às prerrogativas de menor custo, sugere outro material alternativo no teto, o gesso cartonado (13mm). A tabela 8 apresenta o cálculo do tempo de reverberação com as alterações e o material alternativo a primeira proposta. Junto à relação da situação atual com pós tratamento.

Tabela 8 – Planilha tempo de reverberação material alternativo

Planilha tempo de reverberação proposta 2							
Auditório/Proposta		larg.(m)	Comp.(m)	Alt.(m)	AT(m ²)	V (m ³)	
		11,6	21,6	3,4	725,9	850,4	
Material		Área	Coeficiente de absorção				Absorção
			Frequência (Hz)				
			250	500	1000	2000	
Cadeiras	125	0,16	0,2	0,22	0,25	25	

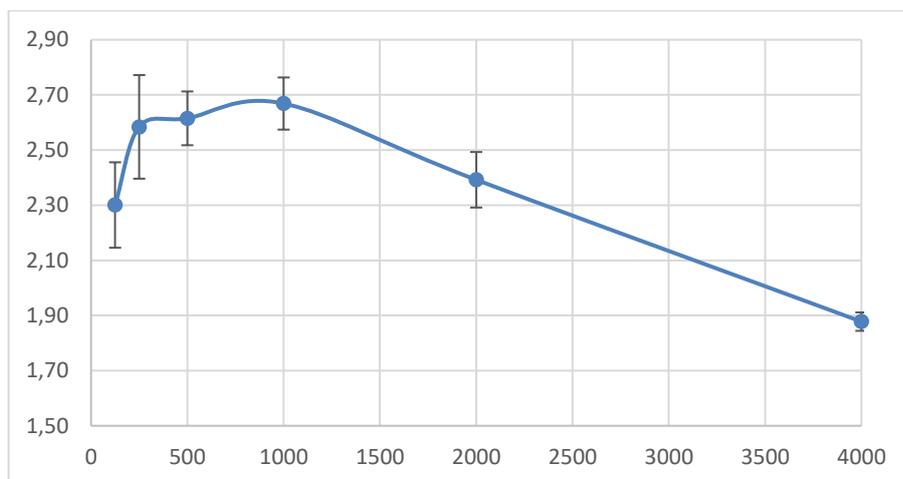
Cerâmica	220	0,01	0,01	0,02	0,02	2,2
Cortina Alg. Com Dobras 50%	65	0,31	0,49	0,81	0,66	31,85
gesso cartonado (13mm)	200	0,12	0,08	0,06	0,06	16
lambрил de Madeira	142	0,07	0,06	0,06	0,06	8,52
Reboco Liso	170	0,02	0,02	0,02	0,03	3,4
Superfícies Metálicas	24	0,01	0,01	0,01	0,01	0,24
Vidraça de janela	22	0,04	0,03	0,02	0,02	0,66
Absorção (Sabine) =		49,04	57,96	70,79	76,24	
SITUAÇÃO ATUAL						
Frequência (Hz) =		250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	
RT60 (Sabine) (s) =		3,61	3,06	2,5	2,32	
Média RT60 (Sabine)(s)		2,87				
APÓS TRATAMENTO						
Frequência (Hz) =		250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	
RT60 (Sabine) (s) =		1,69	1,56	1,25	1,3	
Média RT60 (Sabine) (s)		1,45				

Fonte: Autor, 2018

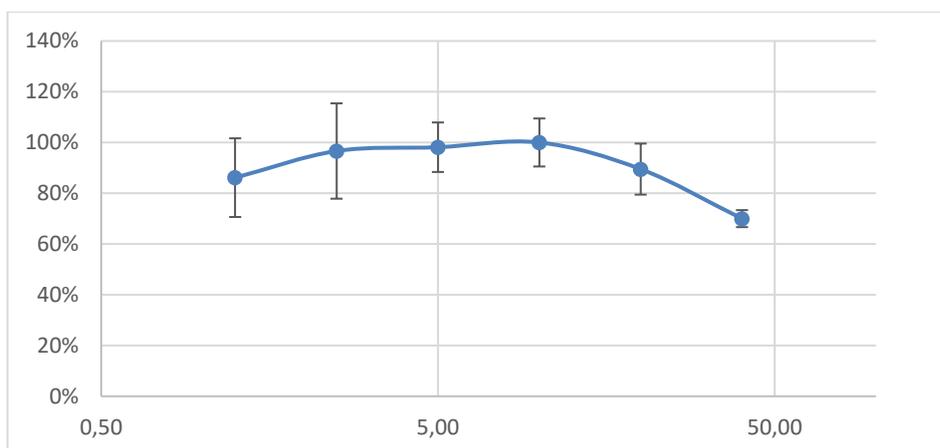
Após a realização dos cálculos com as alterações indicadas, pôde-se observar que houve melhoria no tempo de reverberação e no som residual. O tempo de reverberação médio foi de 1,45s. O que não colocaria o auditório nos padrões recomendados, mas que diminuem pela metade o tempo de reverberação atual, e deixaria o auditório mais perto dos valores estabelecido na NBR12.179 (ABNT, 1992).

5.5 Coloração da reverberação

A Figura 14 apresenta a coloração da reverberação colocando as faixas de frequência em função da variação do tempo de reverberação em segundos. Já a Figura 15 aponta a coloração da reverberação aplicando as faixas de frequência em função variação do tempo de reverberação em porcentagem.

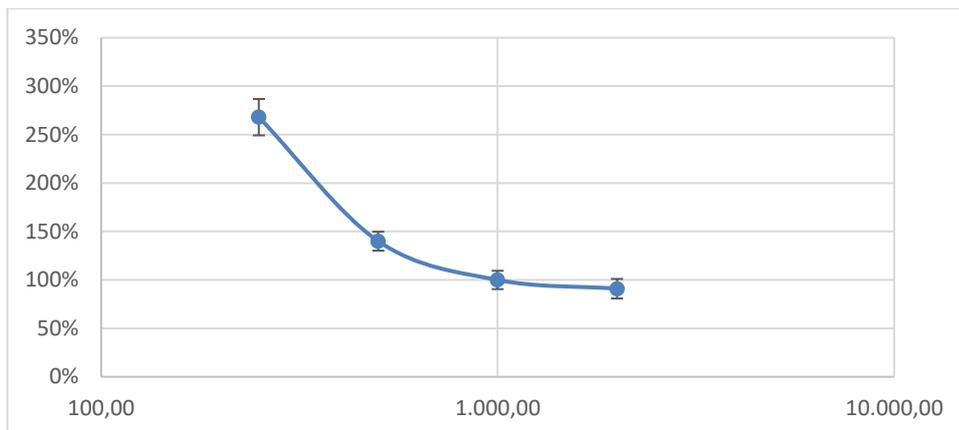
Figura 14 – Figura coloração da reverberação em função da frequência (Hz)

Fonte: Autor, 2018

Figura 15 – Coloração da reverberação em porcentagem escala logarítmica

Fonte: Autor, 2018

Analisando as figuras acima, observa-se que a coloração do tempo de reverberação (variação em função da frequência), se encontra inadequado. Tendo em vista que para a fala o ideal seria um aumento nas baixas frequências e uma leve diminuição nas altas.

Figura 16 – Coloração da reverberação pós alterações em escala logarítmica

Fonte: Autor, 2018

Após o tratamento a coloração da reverberação fica adequado para finalidade da fala do auditório.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

Do ponto de vista das condições atuais de desempenho acústico do auditório da Escola Classe 502 de Samambaia, DF, observou-se que o nível de som residual se encontra muito elevado assim como seu valor de NC atingido.

A NRB 10.152 (ABNT, 2017) apresenta valores referência para o nível de som residual e NC, de acordo com a finalidade e uso do ambiente, visando a preservação da saúde e do bem-estar humano. Ao comparar os valores obtidos no auditório com os recomendados em norma para auditórios, sala de conferência e de uso múltiplo constatou-se que os mesmos se encontram fora dos padrões referenciados.

Avaliando o tempo de reverberação, por meio da medição in situ, pode-se observar que o tempo de reverberação apresenta um valor muito elevado, que causa interferência na inteligibilidade da fala. E que conforme estabelecido na NBR12.179 (ABNT, 1992) para tempo ótimo de reverberação para salas de conferência com seu volume, encontra-se inadequado.

Ao realizar o estudo geométrico-acústico do auditório junto ao levantamento dos coeficientes de absorção dos materiais presentes no interior do mesmo, obteve-se um valor para o tempo de reverberação, ao qual se mostra muito maior que o tempo de reverberação convencional aconselhável, determinado pela fórmula de Sabine, demonstrando mais uma vez que em sua situação atual o auditório é inadequado para o desempenho de suas funções.

Apesar da melhor forma de se obter bons resultados, em termos acústicos, é projetar pensando nos materiais e na geometria do espaço no momento da concepção inicial da edificação, isso não aconteceu no auditório da Escola Classe 502, o que ocasionou a construção de um espaço sem adequação as atividades que ali são desenvolvidas.

Dentro deste contexto, surge à necessidade de mitigar estes problemas, onde a solução encontrada foi o estudo e elaboração de uma proposta que solucionasse os problemas e coloca-se o auditório dentro dos padrões referenciados em norma.

Em vista à questão de uma proposta mais acessível financeiramente, se faz também uma proposta com material alternativo que minimiza os problemas.

Este trabalho pretende colaborar na difusão do assunto assim com a conscientização da problemática de desempenho acústico que podem existir em várias outras edificações de ensino, estando às instituições particulares também sujeitas a estas questões.

Além de enfatizar a necessidade de adoção de métodos que permitam a elaboração do projeto de tratamento e condicionamento acústico primário, de forma sincronizada com a elaboração do projeto arquitetônico e metodologias de projetos colaborativas, que orientem os engenheiros e gestores a construir edificações apropriadas para o fim a que se destinem, tendo em vista que, o cuidado na etapa de concepção do projeto é extremamente necessário, dado que corrigir os problemas em edificações concebidas se torna muito mais oneroso do que evita-los na etapa de projeto.

6.2 Sugestões para pesquisas futuras

Sugere-se para o desenvolvimento de futuros trabalhos:

- Analisar a situação das salas de aulas que também ficam ao lado da quadra
- Estudar os demais parâmetros não tratados desse trabalho (Definição, Clareza e STI) a fim de avaliar a inteligibilidade da fala
- Verificar se após execução das alterações, o auditório alcançou os parâmetros estipulados nesse trabalho

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: **Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.152: **Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.179: **Tratamento acústico em recintos fechado**. Rio de Janeiro, 1992.

COSTA, Ennio Cruz da. **Acústica Técnica**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2003. 127 p. v. 1.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. 2. ed. Brasília: Thesaurus Editora de Brasília LTDA, 2010. 238 p. v. 1.

BRANDÃO, Eric. **Acústica de salas: projeto de modelagem**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher LTDA, 2016. 654 p. v. 1.

VALLE, Sólton do. **Manual prático de acústica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Musica & Tecnologia, 2009. 355 p.

CORREIA, Thayse; OITICICA, Lúcia. **Acústica de edifícios escolares: avaliação da qualidade acústica em escolas públicas de Maceió – AL**. Estudo de caso. 2014. 107 p. Universidade Federal de Alagoas, Campos A.C. Simões, Campinas, 2014.

CUNHA, Iara B.; BERTOLI, Stelamaris R. **Sistema de reforço sonoro e a inteligibilidade da fala em um auditório universitário**. Estudo de caso. 2014. 100 p. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, 2014.

CORREIA, Ludmila de Araújo. *et al.* **Avaliação da performance acústica de um auditório multiuso na universidade de Brasília**. Estudo de caso. 2017. 604 p. Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo – Universidade de Brasília; UNICEUB; UDF: UniEURO, Brasília, 2017.

GARAVELLI, Sérgio Luiz. *et al.* **Avaliação dos ruídos ambientais em escolas do Distrito Federal**. Artigo. 2018. 10 p. Centro de Ensino Unificado de Brasília, Campus Taguatinga. XXVIII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Porto Alegre, 2018.

ALVES, Luciana da Rocha. *et al.* **Análise do condicionamento acústico de salas de aula a partir de métodos experimental, numérico e simulação**. Artigo. 2017. 533 p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Brasília, 2017.

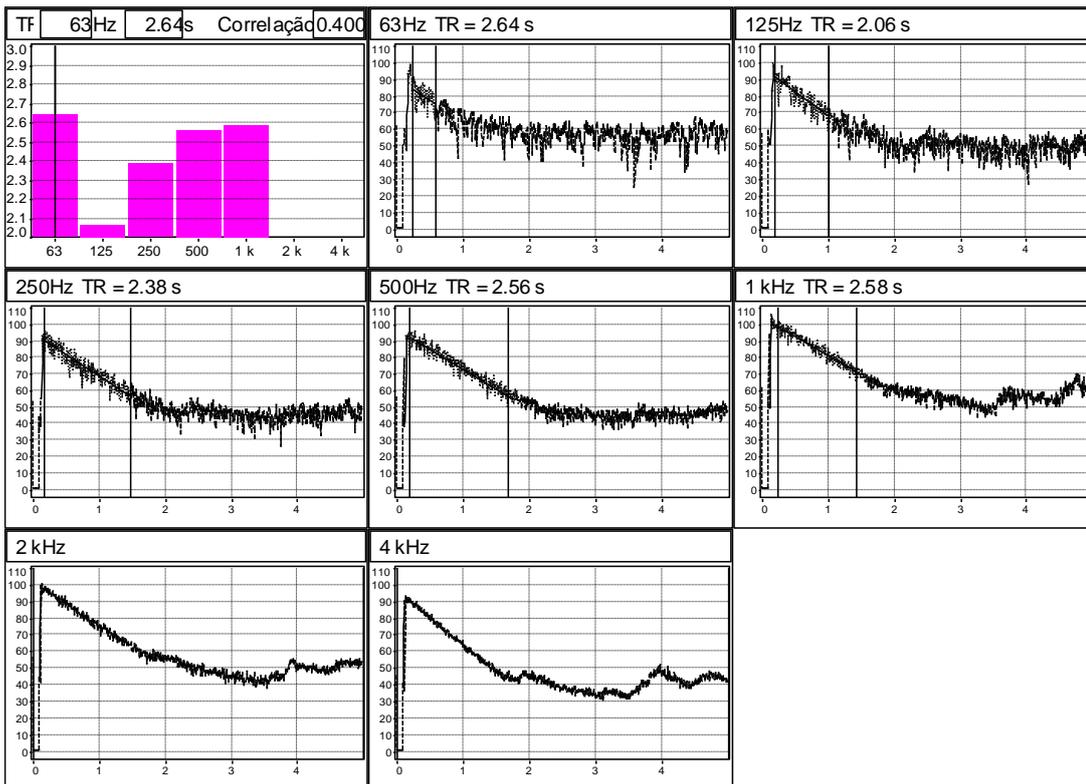
PIRES, Jhennyfer Loyane Gama. *et al.* **Conforto acústico no ensino de Língua Estrangeira: um estudo de caso de escolas em Brasília.** Estudo de caso. 2017. 669 p. Centro Universitário Euro Americano, XXVII Encontro da Sociedade Brasileira de Acústica, Brasília, 2017.

MACIEL, M.A.; TRENTIN, A.R.; CAMARGO, T.H.C. **Parâmetros para reabilitação acústica bioclimática de projetos escolares.** Artigo. 2016. 93 p. Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal da Fronteira Sul, Campus Erechim, RS, 2016.

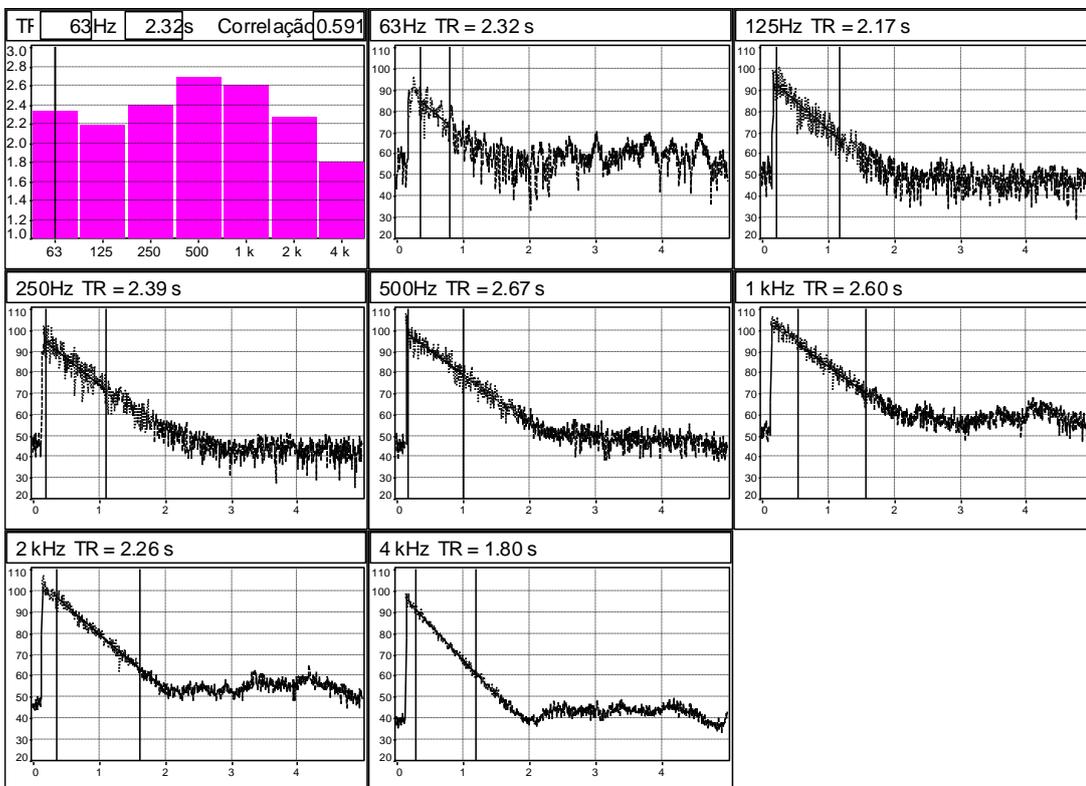
PEGORER, Mateus Henrique M. **Condições de Conforto Acústico em Templos Religiosos: Estudo de caso do Santuário Nossa Senhora do Perpétuo Socorro.** Estudo de caso. 2017. 61 p. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Curso de Engenharia Civil, UNICEUB, Brasília, 2017.

MENEZES, Rafael Cardoso. **Análise acústica de um estudo musical.** Estudo de caso. 2018 56 p. Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas, Curso de Engenharia Civil, UNICEUB, Brasília, 2018.

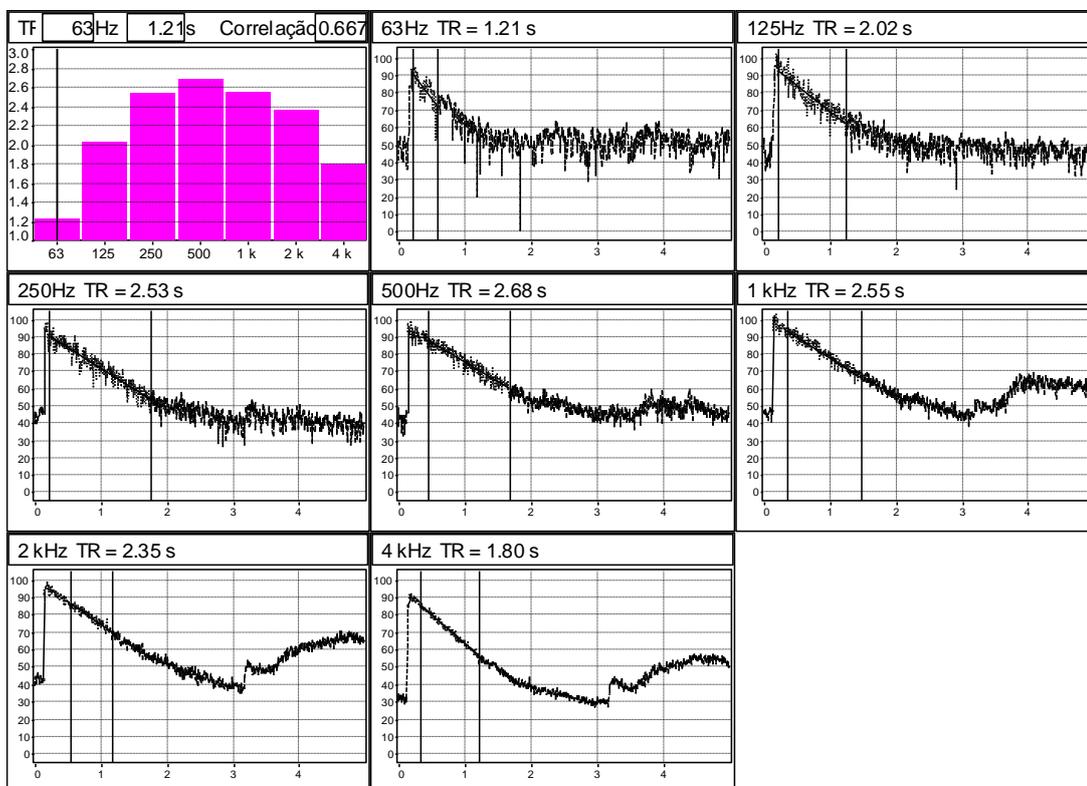
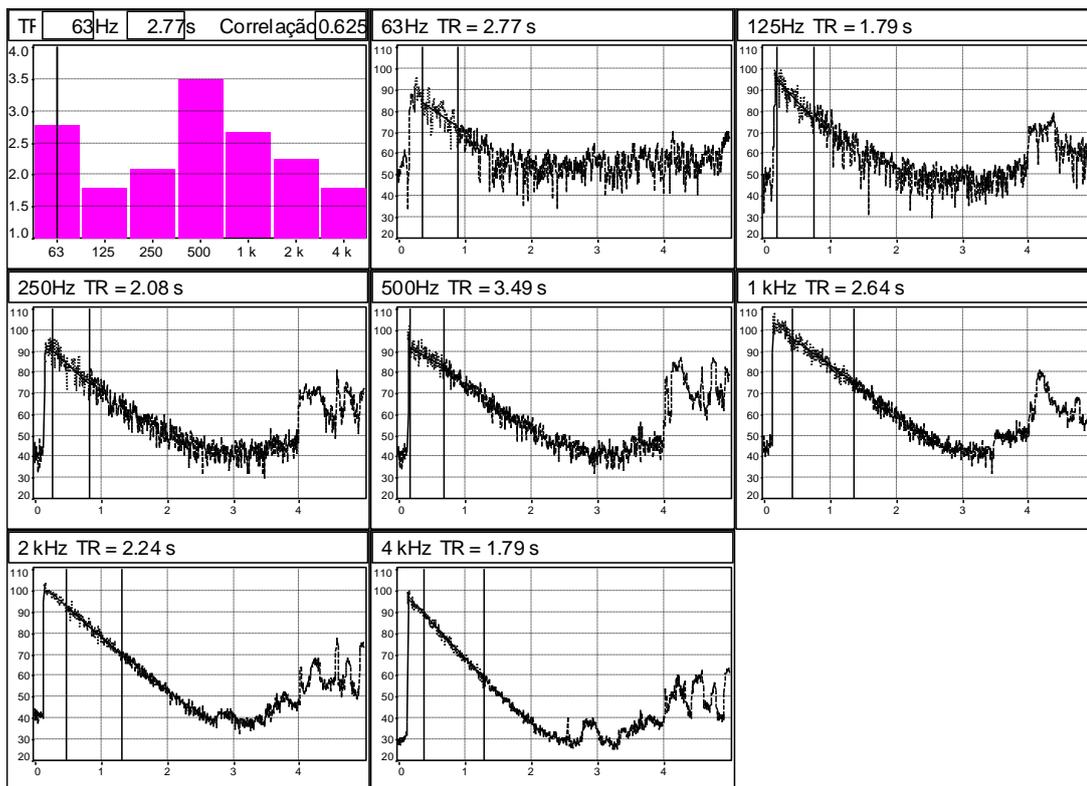
BARBOSA, Déborah Mis Fragoso. *et al.* **Proposta de Condicionamento acústico utilizando materiais sustentáveis do auditório das faculdades integradas de Patos-PB.** 2016. 11 p. Faculdades Integradas de Patos, Graduando Arquitetura e Urbanismo, VI Encontro Nacional Ergonomia do Ambiente Construído, Recife, 2016.



TR4



TR5



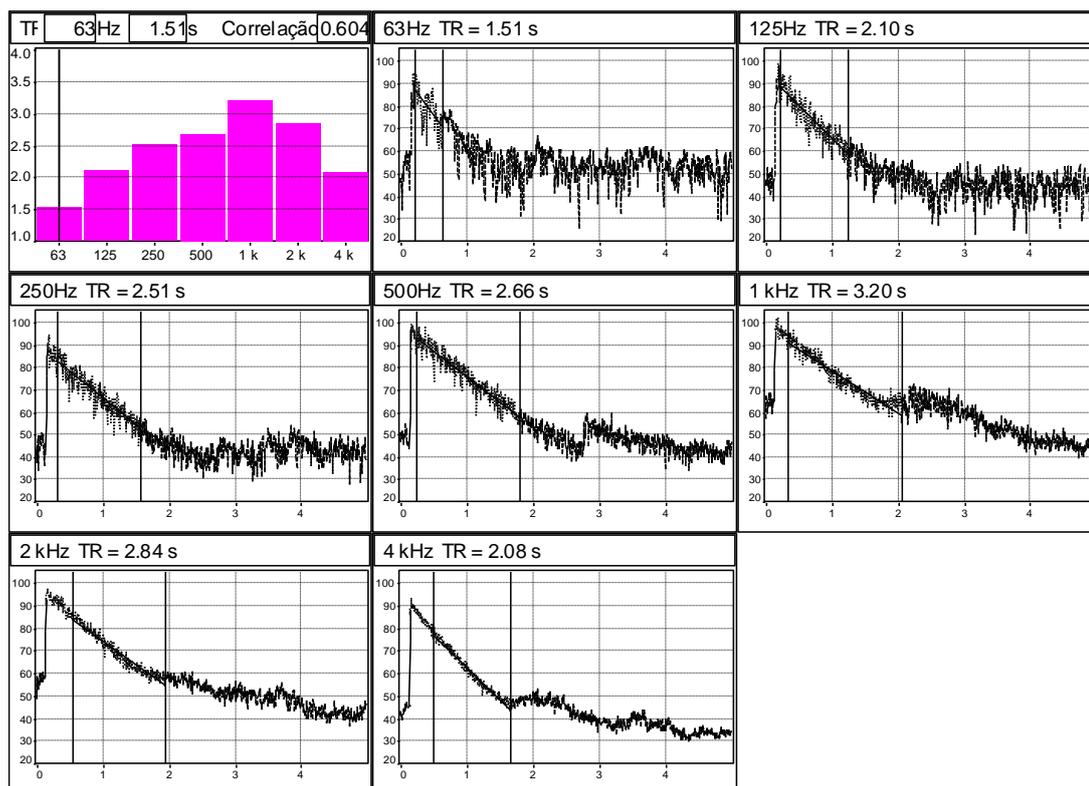


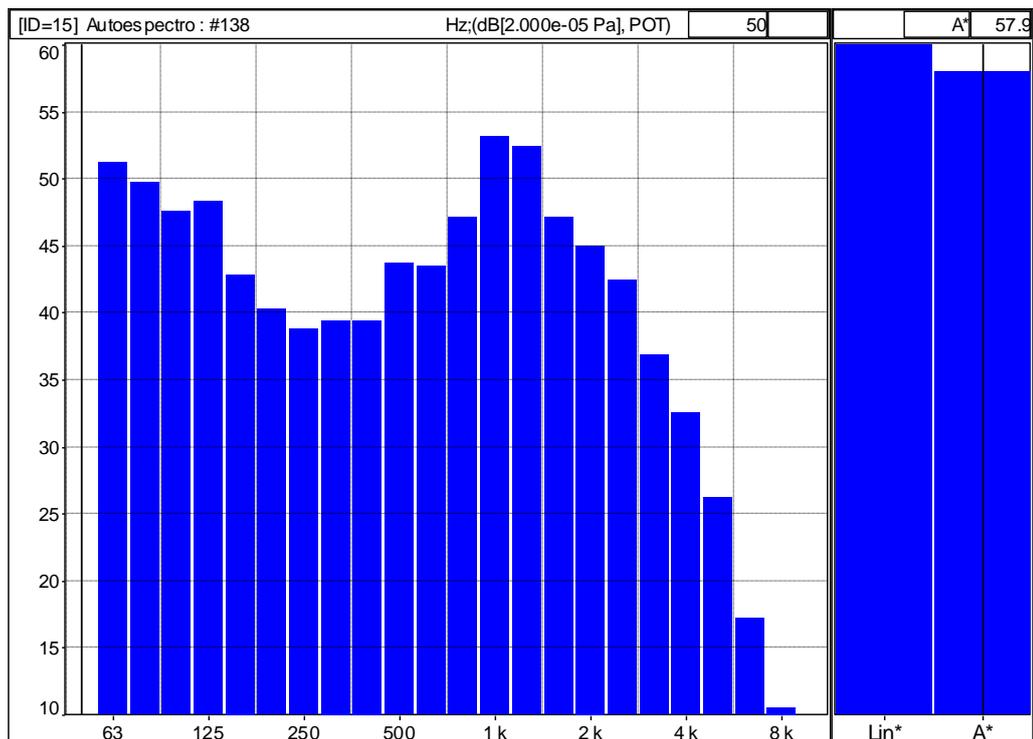
Tabela TR MEDIDOS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	---	1,63	2,42	2,77	1,96	1,18	2,79	1,97	3,03	2,87	2,87	2,97	2,05	3,37	3,92
125	2,27	2,19	2,23	2,36	2,38	2,31	2,64	2,43	2,54	2,04	2,23	2,13	2,33	2,18	2,25
250	2,64	2,56	2,49	2,42	2,54	2,39	2,50	2,58	3,22	2,59	2,57	2,62	2,55	2,52	2,57
500	2,63	2,67	2,57	2,35	2,65	2,48	2,69	2,62	---	2,60	2,60	2,70	2,65	2,70	2,70
1 k	2,54	2,63	2,57	2,63	2,61	2,60	2,72	2,71	2,77	2,74	2,65	2,83	2,54	2,62	2,87
2 k	2,34	2,35	2,30	2,45	2,36	2,36	2,30	2,32	2,37	2,37	---	2,43	2,32	2,61	2,61
4 k	2,02	1,87	1,84	1,86	1,88	1,83	1,82	1,88	1,82	1,88	---	1,88	1,88	1,88	1,95

Tempo de reverberação médio e desvio padrão médio

Frequência	TR médio	Desvio padrão
63	2,56	0,70
125	2,30	0,15
250	2,58	0,19
500	2,62	0,10
1000	2,67	0,09
2000	2,39	0,10
4000	1,88	0,03

Som residual, nível de pressão sonora em função da frequência



Fonte: Autor, 2018