

ANÁLISE DA QUALIDADE ACÚSTICA DE SALAS DE AULA NA UFERSA – CAMPUS MOSSORÓ.

Mirielly Ferreira da Costa¹, Márcio Furukava²

Resumo: Para a elaboração do projeto de uma sala de aula, vários fatores devem ser considerados, entre eles pode-se citar a qualidade acústica. Na UFERSA Campus Leste - Mossoró, foram analisadas três salas de aulas, em três centrais de aulas distintas. A Central de Aulas IV (Sala 01), Central de Aulas V (Sala 03) e Central de Aulas VI (Sala 01), onde foram catalogados todos os materiais e elementos (móveis, quantidade de pessoas, etc.), presentes nos ambientes, para a obtenção dos tempos de reverberação com a utilização dos métodos de Sabine e Norris Eyring. Foi considerado o pior caso possível, que é quando no ambiente não há presença do docente e dos discentes e quando há indivíduos no local, para efeito de comparação. Constatando-se que somente a Sala 01 da Central de Aulas VI possui tempos de reverberação (TR) considerados adequados para todas as frequências de banda de oitava, conforme as normas internacionais e fontes literárias.

Palavras-chave: Ambiente educacional; Sala de aula; Tempos de reverberação.

1. INTRODUÇÃO

A qualidade acústica em ambientes educacionais é um dos pontos a serem analisados para haver uma maior absorção dos conteúdos abordados em sala de aula, sendo assim, locais com ruídos podem atrapalhar o processo de aprendizagem dos alunos, como também podem trazer distúrbios vocais aos docentes ministrantes das aulas. O ambiente educacional é considerado um local seguro, aconchegante, de transmissão de conhecimentos, interações interpessoais e aquisições intelectuais, e tudo isso pode ser prejudicado devido à má projeção do local, que pode ocasionar na propagação de sons internos e externos que podem atrapalhar processo de ensino-aprendizagem. A qualidade acústica de uma sala de aula é um aspecto importante para se averiguar no projeto de um ambiente de ensino, pois esses locais estão diretamente ligados à aprendizagem e à comunicação verbal, então deve-se ter uma atenção com relação ao condicionalmente acústico do recinto [1].

A poluição sonora é um problema presente e recorrente no cotidiano de todos, manifestando-se em diversos âmbitos, como no trânsito, no ambiente domiciliar, no trabalho ou até mesmo no ambiente escolar. Praticamente todos esses espaços vão apresentar ruídos indesejáveis que são capazes de comprometer a concentração ou até mesmo a compreensão do que está sendo comunicado.

Nesse contexto, esse estudo tem como objetivo analisar e averiguar a qualidade acústica das salas de aula da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) - Campus Leste Mossoró, com a utilização dos métodos de Sabine e Norris Eyring para se encontrar os tempos de reverberação (TR) analíticos e compará-los com os tempos de reverberação considerados ideais para um ambiente de ensino e aprendizagem. Para averiguar seu potencial impacto no processo de aprendizagem dos discentes na sala de aula, assim como verificar a estrutura das salas, para compreender se houve algum planejamento prévio na implementação dos materiais utilizados na construção para serem adequados ao ambiente e como eles podem afetar na absorção, reflexão, transmissão e difusão dos ruídos no ambiente. Foram analisadas e tiradas as medidas de três salas de aulas em três Centrais distintas, a sala 01 da Central de aulas IV, a sala 03 da Central de aulas V e a sala 01 da Central de aula VI. As demais Centrais de aulas apresentam estruturas semelhantes às salas já analisadas, por isso não foram averiguadas.

¹ Graduando(a) em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

² Orientador, Docente da UFERSA, Campus Mossoró.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ACÚSTICA

2.1.1. SOM

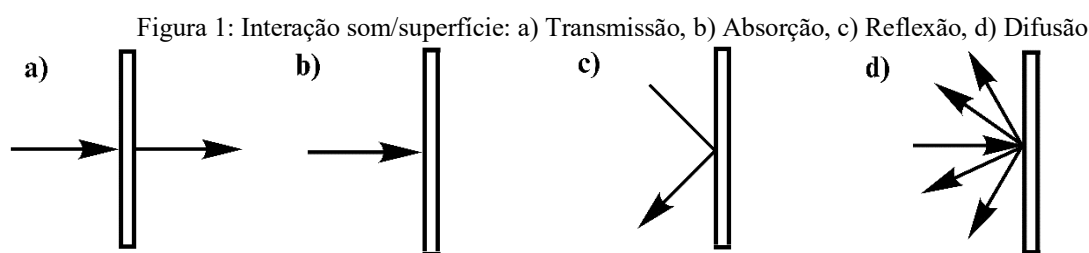
O som pode ser definido como uma perturbação que se propaga nos meios materiais e é capaz de ser escutado pelos ouvidos humanos. Ou seja, são vibrações mecânicas geradas por meio de uma fonte sonora, em forma de ondas circulares, que são transmitidas através do meio [3]. As ondas sonoras possuem algumas características, dentre elas pode-se citar a altura e a intensidade. A altura está relacionada com a frequência, ou seja, a sequência das vibrações sonoras, se um som é agudo ou grave. Enquanto a intensidade está ligada a amplitude de uma onda, ou seja, a potência sonora [4]. Quando o som incide sobre uma superfície, Figura 1, ocorrem algumas interações sons-superfícies, dentre eles pode-se citar [5]:

Transmissão: Acontece quando um som incide sobre uma superfície e consegue ultrapassá-la

Absorção: Acontece quando o som emitido por alguma fonte sonora é absorvido por alguma superfície.

Reflexão: Ocorre quando uma onda sonora reflete em algum obstáculo e muda de direção

Difusão: Ocorre quando um som reflete sobre a superfície em várias direções.



Fonte: Seep *et al.* (2002) [5].

2.1.2. FREQUÊNCIA E INTENSIDADE

Corresponde ao número de ciclos de uma onda em um intervalo de tempo, cuja unidade de medida é o Hertz (Hz). Todo som emitido por uma fonte sonora possui uma frequência característica distinta, que são divididas em oito níveis: 63Hz, 125Hz, 250Hz, 500Hz, 1000Hz, 2000Hz, 4000Hz e 8000 Hz, sendo chamadas assim de bandas de oitavas. O ouvido humano é capaz de ouvir até certas frequências, os limites de audições variam entre 20 a 20.000Hz [5].

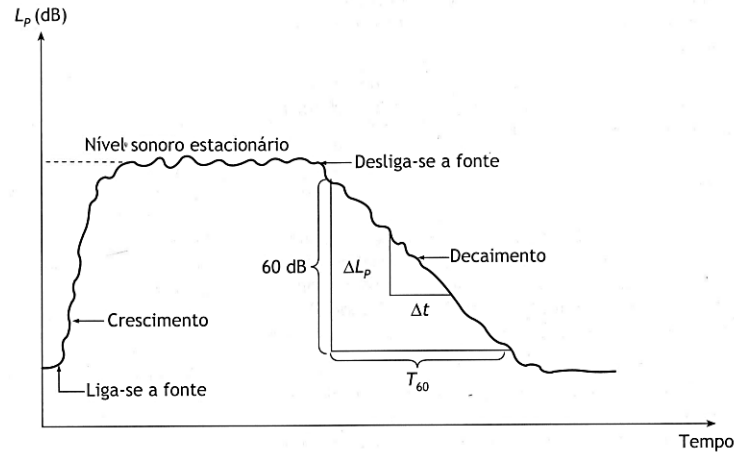
A intensidade está ligada à potência sonora, ou seja, ao “volume”, a “altura”, a intensidade de um som. A potência de um som pode variar, podendo ser mais potente ou menos potente, vai depender da fonte sonora emissora. Pode-se citar, por exemplo, a comparação entre a intensidade sonora da fala de um indivíduo com um aparelho de som, a fala humana pode ser definida como um som com menor potência sonora (menor intensidade) e um aparelho de som, com uma maior potência sonora (maior intensidade) [2].

2.1.3. REVERBERAÇÃO

A reverberação é um fenômeno ondulatório relacionado à reflexão das ondas sonoras em um ambiente. É o efeito produzido quando o som é refletido em um obstáculo e retorna novamente para o ouvido. A diferença entre eco e reverberação está no intervalo de tempo para ouvir o que foi refletido, quando o tempo para ouvir o som em um determinado ambiente for maior que 0,1s é considerado um eco, consequentemente quando o tempo for menor que 0,1s é uma reverberação.

O tempo de reverberação (TR) é o tempo necessário para que a densidade da energia sonora em um recinto decair 60 dB após a interrupção da emissão sonora, como ilustrado na Figura 2 [6]. Cada ambiente possui um tempo de reverberação diferente, que irá depender das suas dimensões, dos materiais, elementos e seus coeficientes de absorções sonoras, que se distinguem de acordo com a frequência. Assim quanto maior for o coeficiente de absorção dos materiais, menor será o tempo de reverberação.

Figura 2: gráfico que representa o crescimento e decaimento sonoro em recintos, com indicação do tempo de reverberação.



Fonte: BISTAFA (2018, p. 246) [7].

Em 1896, Wallace Clement Sabine conseguiu chegar a uma definição matemática sobre o tempo de reverberação, a equação leva em consideração o volume da sala, os materiais que o ambiente é construído, e seus coeficientes de absorção. A Equação 1 representa o método de Sabine.

$$TR = \frac{0,161 V}{\sum S a} \text{ (s)}$$

Equação 1

- V é o volume do recinto em m^3
- S são as áreas das superfícies interiores em m^2
- a são os coeficientes de absorção das superfícies e dos elementos absorventes no ambiente.

A fórmula de Sabine é para ser utilizada quando o coeficiente médio de absorção no ambiente for menor ou igual a 0,3 [8]. A Equação 2 corresponde ao coeficiente médio de absorção.

$$a' = \frac{At}{St}$$

Equação 2

- At é o produto entre as áreas da superfície (S) pelo referido coeficiente de absorção (a), chamado também de absorção total em m^2 .
- St é a soma das áreas das superfícies em m^2 .

Com o passar do tempo ficou constatado que a equação de Sabine não atendia todas as situações, então Norris Eyring descobriu a outra equação, que é considerada mais precisa quando o coeficiente médio de absorção é maior que 0,3 [8]. A Equação 3 retrata o método de Norris.

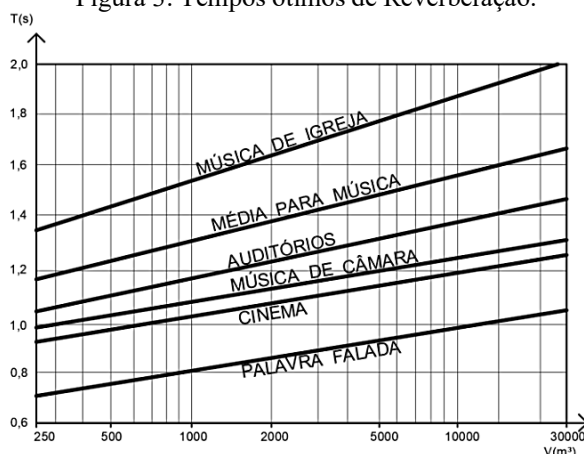
$$TR = \frac{0,161 V}{-S \ln(1-a)} \text{ (s)}$$

Equação 3

Um tempo de reverberação longo é considerado inadequado para ambientes em que há comunicação e trocas de informações, como salas de aula, onde a inteligibilidade da fala pode ser prejudicada pois os sons refletidos permanecem no local por mais tempo, atrapalhando assim o processo ensino-aprendizagem.

O tempo de reverberação ideal para um determinado ambiente, é decidido de acordo com o seu volume e a finalidade de seu uso. Os tempos de reverberação considerados ótimos, foram obtidos experimentalmente, como ilustra a Figura 3 [3].

Figura 3: Tempos ótimos de Reverberação.



Fonte: DE MARCO (1982, p. 40) [3].

2.1.4. INTELIGIBILIDADE DA FALA (STI)

Está relacionado à percepção do ouvinte ao que está sendo falado pelo emissor, ou seja, o quão bem é possível entender e compreender a mensagem repassada durante um canal de comunicação. Podendo variar de 0 a 1, que representa a qualidade do entendimento de uma fala em um determinado recinto, nesse caso, a sala de aula. Na norma IEC 60268-16 (2018), a inteligibilidade da fala pode ser classificada de acordo com a faixa de STI e avaliação subjetiva do ambiente (Tabela 1) [9].

Tabela 1: Avaliação de inteligibilidade da fala segundo a norma IEC 60268-16 (2018).

Faixa de STI	Avaliação subjetiva
0,75- 1,00	Excelente
0,60 – 0,75	Boa
0,45 – 0,60	Satisfatória
0,30- 0,45	Ruim
0,00 -0,30	Muito ruim

Fonte: Zannin *et al.* (2009) [9].

2.2. NORMAS TÉCNICAS SOBRE ACÚSTICA

2.2.1. BRASIL

As normas brasileiras, tais como a NBR 12179, não definem nenhuma especificação para o tempo de reverberação adequado para as salas de aula [8].

2.2.2. INGLATERRA

O tempo de reverberação varia de acordo com o uso da edificação e se a construção é nova ou foi remodelada. Dessa maneira, segundo o Departamento de Educação da Inglaterra, são recomendados os seguintes tempos de reverberação de acordo com sua utilidade (Tabela 2) [10].

Tabela 2: Tempos de reverberação (TR) recomendados para salas de aula da Inglaterra.

Espaço de aprendizagem	Nova construção	Remodelação
Pequena (Menos de 50 pessoas)	$\leq 0,8$ s	$\leq 1,0$ s
Grande (Mais de 50 pessoas)	$\leq 1,0$ s	$\leq 1,0$ s

Fonte: Department for Education (Departamento de Educação da Inglaterra) Building Bulletin 93 (2015) [10].

2.2.3. ESTADOS UNIDOS

De acordo com a norma ANSI/ASA S12.60-2010, o tempo de reverberação recomendado vai ser escolhido de acordo com o respectivo volume do local. Os valores são mostrados na Tabela 3 [11].

Tabela 3: Tempos de reverberação (TR) recomendados para salas de aula americanas, para frequências de 500 Hz, 1000 Hz e 2000 Hz (s).

Espaço de aprendizagem	Volume(m³)	TR(s)
Sala	≤ 283	≤ 0,6
Sala	>283 e ≤ 566	≤ 0,7

Fonte: American National Standard Acoustic (Norma Nacional Americana Acústica) ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1 [11].

3. METODOLOGIA

Foram analisadas três salas de aulas: a sala 01 da Central de aula IV, sala 03 da Central de aula V e a sala 01 da Central de aula VI. Durante essas análises, foram realizadas as medidas das dimensões internas das salas e catalogados todos os mobiliários que fazem parte do ambiente, bem como suas composições, como apresentado nas Tabelas 4,5 e 6. Também foram realizados registros fotográficos dos locais visitados. Vale ressaltar que a Central de aula IV foi construída antes das Centrais V e VI, sendo assim as dimensões da sala, bem como os materiais que compõem o ambiente são um pouco mais distintos das demais.

Para se calcular o tempo de reverberação foram utilizadas as fórmulas de Wallace Clement Sabine e de Norris Eyring, por intermédio do software Reverb criado por João Roberto Gomes de Faria, Figura 4 [12]. Sendo possível adicionar e selecionar os coeficientes de absorção dos materiais conforme o banco de dados do software, fontes literárias, NBR 12179, artigos científicos, teses e revistas especializadas no assunto. O software SketchUp também possibilitou a modelagem das salas de aula em 3D.

Figura 4:Interface do software Reverb (2010)

Fonte: Reverb (2010) [12].

Para em seguida serem comparados os valores dos tempos de reverberação obtidos no software Reverb, com os tempos de reverberação considerados adequados para aquele ambiente. Como as normas brasileiras não especificam um tempo de reverberação ideal para uma sala de aula, foi necessário recorrer a normas internacionais dos Estados Unidos [11], da Inglaterra [10] para uma sala considerada pequena (menos de 50 pessoas), visto que nem sempre as salas têm sua capacidade máxima de ocupação atingida, assim como a utilização dos tempos de reverberação (TR) propostos por De Marco [3]. Cavalcante [2] utiliza TR de 0,7s, mesmo que o volume do ambiente analisado seja inferior ao mínimo apresentado na Figura 2, para palavras faladas. Assim também foi adotado esse TR para análise e comparação dos resultados, tendo em vista que o volume das salas é inferior a 250m³.

Com relação aos materiais, tais como os vidros das portas, foram considerados os coeficientes de absorção do vidro comum de janela, fornecidos pela ABNT 12179 [8], pelo fato de não ter sido encontrado o material em específico. Bem como foi considerado que na Central IV (Sala 01), a janela seria toda de vidraça, pelo fato de não ter sido encontrado o coeficiente de absorção sonora do alumínio. O Anexo A, Tabela 1A e Tabela 2A, apresentam os coeficientes de absorção de acordo por banda de frequências de oitava dos materiais e elementos presentes no interior das salas.

Tabela 4: Materiais, áreas/quantidade – Central de Aulas V (Sala 03)

Material da Superfície	Área (m ²) ou N°
Revestimento das paredes (azulejo)	36,7
Piso de Granilite	64,3
Alvenaria das paredes	26,0
Forro de PVC	62,2
Quadro Branco	6,3
Peitoril das janelas (Granito)	0,4
Janelas Envidraçadas	14,3
Porta de Madeira Compensada Fechada	1,7
Mesa	0,7
Vidro Comum da Porta	0,6
Carteiras	52
Cadeira estofada	1

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 5: Materiais, áreas/quantidade – Central de Aulas VI (Sala 01)

Material da Superfície	Área (m ²) ou N°
Revestimento das paredes (azulejo)	43,1
Piso de Granilite	75,6
Alvenaria das paredes	46,1
Forro de Lã de Vidro	73,8
Quadro Branco	5,0
Peitoril das janelas (Granito)	0,5
Janelas Envidraçadas	10,0
Porta de Madeira Compensada Fechada	1,7
Mesa	0,7
Vidro Comum da Porta	0,6
Carteiras	57
Cadeira estofada	1

Fonte: Autoria própria (2024).

Tabela 6: Materiais, áreas/quantidade – Central de Aulas IV (Sala 01)

Material da Superfície	Área (m ²) ou N°
Piso de Granilite	59,0
Alvenaria das paredes	82,6
Forro de Concreto e Viga	63,9
Quadro Branco	6,0
Janelas Envidraçadas	6,5
Porta de Madeira	1,9
Mesa	0,6
Carteiras	47
Cadeira de Plástico	1

Fonte: Autoria própria (2024).

No aplicativo Reverb, ao utilizar a equação de Norris Eyring para se obter os tempos de reverberação, não se considera os elementos presentes na sala, como estudantes, carteiras e professores. Em alguns materiais ou elementos há frequências com o coeficiente de absorção considerado zero, pelo fato de não terem sido encontrados em alguns artigos ou fontes bibliográficas, não terem sido fornecidas pelos fabricantes ou possuírem um coeficiente de absorção próximo ou igual a zero. Para o cálculo da absorção total das salas das Centrais IV, V e VI, foi considerado o ambiente com discentes e docentes, e sem a presença de nenhum deles, como apresentado na Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente.

Tabela 7: Absorção total por banda frequência de oitava (m²) - Método de Sabine e Norris Eyring –Central de Aulas IV

Absorção total por banda de oitava (m²)							
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Pessoas	23,2	24,3	36,1	36,2	39,9	38,2
	vazia	13,6	18,3	30,5	28,8	31,9	18,0
Norris Eyring	Pessoas	13,6	10,8	21,1	18,4	20,1	18,0
	vazia	13,6	10,8	21,1	18,4	20,1	18,0

Fonte: Reverb (2010) [12].

Tabela 8: Absorção total por banda frequência de oitava (m²) - Método de Sabine e Norris Eyring –Central de Aulas V

Absorção total por banda de oitava (m²)							
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Pessoas	28,0	26,1	27,1	26,3	29,2	25,7
	vazia	17,4	19,2	20,9	18,0	19,8	3,5
Norris Eyring	Pessoas	17,0	10,3	9,9	6,0	6,2	3,0
	vazia	17,0	10,3	9,9	6,0	6,2	3,0

Fonte: Reverb (2010) [12].

Tabela 9: Absorção total por banda frequência de oitava (m²) - Método de Sabine e Norris Eyring – Central de Aulas VI

Absorção total por banda de oitava (m²)							
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Pessoas	71,7	79,3	91,3	99,7	101,6	100,2
	vazia	60,1	72,1	84,5	90,7	92,0	75,8
Norris Eyring	Pessoas	59,7	62,5	72,5	77,6	77,2	75,3
	vazia	59,7	62,5	72,5	77,6	77,2	75,3

Fonte: Reverb (2010) [12]

3.1. OBJETO DO ESTUDO - DEFINIÇÃO DOS ESPAÇOS A SEREM AVALIADOS

A Central de aulas V fica situada em uma região da UFERSA em que há circulação de veículos em ambos os lados do prédio, o que pode possibilitar ruídos advindos de fontes externas no interior da Sala 03. A mesma possui dimensões de 6,0 m de largura por 12,43m de comprimento, com pés-direitos variando de acordo com os três níveis da sala, o primeiro nível possui pé-direito de 2,70 m, o segundo de 2,55m e o terceiro de 2,40m e um volume de 160,15 m³. Como o ambiente educacional está atrelado ao ensino aprendizagem, de acordo com a Figura 2 a palavra falada é a principal forma de comunicação no ambiente. Conforme mostram as Figuras 5, 6 e 7.

Figura 5: Modelagem em 3D do interior da sala

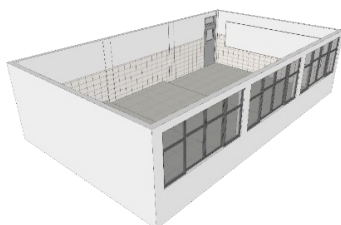


Figura 6: Vista interna da sala



Figura 7: Mesa compensada e cadeira estofada



Fonte: Autoria própria (2024).

A Central de Aulas VI fica situada em uma região que também há circulação de veículos em ambos os lados do prédio, o que pode possibilitar ruídos advindos de fontes externas no interior da Sala 01. A mesma possui dimensões de 6,17 m de largura por 12,00 m de comprimento, com pés-direitos variando de acordo com os três

níveis da sala, o primeiro nível possui pé-direito de 3,00m, o segundo de 2,85m e o terceiro de 2,70m e um volume de 213,22 m³. Conforme mostram as Figuras 8,9 e 10.

Figura 8: Modelagem em 3D do interior da sala

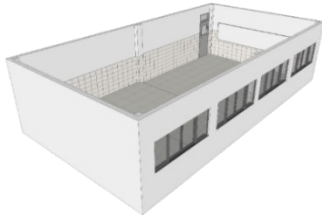


Figura 9: Porta de compensado com vidro



Figura 10: Vista interna da sala



Fonte: Autoria própria (2024).

A Central de Aulas IV fica situada em uma região da universidade em que há circulação de veículos em um lado do prédio, mas um pouco distante do mesmo, o que pode resultar em ruídos externos de menor intensidade no interior da Sala 01. A mesma possui dimensões de 7,50 m de largura por 7,87 m de comprimento, com pé-direito de 3,15 m e um volume de 185,42 m³. Conforme mostram as Figuras 11,12 e 13.

Figura 11: Modelagem em 3D do interior da sala

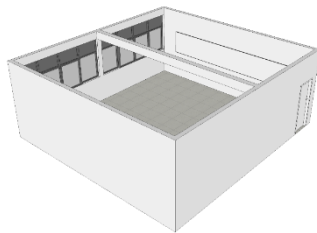
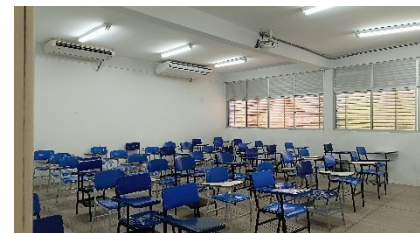


Figura 12: Porta de madeira



Figura 13: Vista interna da sala



Fonte: Autoria própria (2024)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. RESULTADOS ANALÍTICOS TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Nas Tabela 10, 11 e 12 é possível observar os tempos de reverberação encontrados para as salas das Centrais de aula da UFERSA Campus Leste.

Tabela 10: Tempo de reverberação por banda de frequência de oitava (m²) – Método de Sabine e Norris Eyring – Central de Aulas IV (Sala 01).

TR calculado (s)	Tempo de reverberação por banda de oitava (s)						
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Sem pessoas	2,2	1,6	1,0	1,0	0,9	1,6
	Com pessoas	1,3	1,2	0,8	0,8	0,7	0,8
Norris Eyring	Sem pessoas	2,1	2,7	1,3	1,5	1,4	1,6
	Com pessoas	2,1	2,7	1,3	1,5	1,4	1,6
Faixas Ideais	Ambos os casos	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,7 - 0,8

Fonte: Adaptação do Reverb (2010) [12].

Tabela 11: Tempo de reverberação por banda de frequência de oitava (m^2) – Método de Sabine e Norris Eyring – Central de Aulas V (Sala 03)

TR calculado (s)	Tempo de reverberação por banda de oitava (s)						
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Sem pessoas	1,5	1,3	1,2	1,4	1,3	7,3
	Com pessoas	0,9	1,0	0,9	1,0	0,9	1,0
Norris Eyring	Sem pessoas	1,4	2,4	2,5	4,2	4,1	8,4
	Com pessoas	1,4	2,4	2,5	4,2	4,1	8,4
Faixas Ideais	Ambos os casos	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,7 - 0,8

Fonte: Adaptação do Reverb (2010) [12].

Tabela 12: Tempo de reverberação por banda de frequência de oitava (m^2) – Método de Sabine e Norris Eyring – Central de Aulas VI (Sala 01).

TR calculado (s)	Tempo de reverberação por banda de oitava (s)						
	Sala	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz
Sabine	Sem pessoas	0,6	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
	Com pessoas	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3
Norris Eyring	Sem pessoas	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
	Com pessoas	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Faixas Ideais	Ambos os casos	0,7 - 0,8	0,7 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,6 - 0,8	0,7 - 0,8

Fonte: Adaptação do Reverb (2010) [12].

Sendo assim, é possível observar analisando as Tabelas 10,11 e 12, que somente a Sala 01 da Central de Aulas VI, possui para todas as frequências de bandas de oitava, tanto pelo método Sabine quanto pelo de Norris Eyring, tempos de reverberação inferiores aos estabelecidos como adequados pelas normas ANSI S12.60 (2010) [11], Building Bulletin 93 [10] e por De Marco [3]. Dessa maneira, dados os resultados obtidos, esse ambiente oferece um nível de conforto acústico superior às demais salas analisadas. Sendo assim considerado um ambiente favorável ao ensino-aprendizagem, possibilitando que os alunos consigam absorver e entender o que o docente está repassando.

Na Central de Aula V (Sala 03), os tempos de reverberação obtidos tanto utilizado o método de Sabine quanto o de Norris Eyring, com e sem a presença de pessoas, foram superiores aos considerados ideais, ou seja, os sons vão refletir por mais tempo no interior do ambiente e será necessário o docente elevar a intensidade da sua voz para que os discentes consigam entender o que está sendo comunicado, o que pode resultar em problemas futuros relacionados ao uso excessivo da voz.

Na Central de Aulas IV (Sala 01), para que o ambiente seja considerado adequado acusticamente, todos os tempos de reverberação por frequência de bandas de oitava têm que ser iguais ou inferiores aos considerados ideais. Nesse ambiente, mesmo analisando o recinto com a presença de pessoas e elementos (mobiliários), que aumentam a absorção total, alguns dos tempos de reverberação não estão de acordo com os recomendados.

A Figura 14 representa os tempos de reverberação de todas as salas de aula de acordo com o método de Sabine, considerando o ambiente com e sem a presença de pessoas.

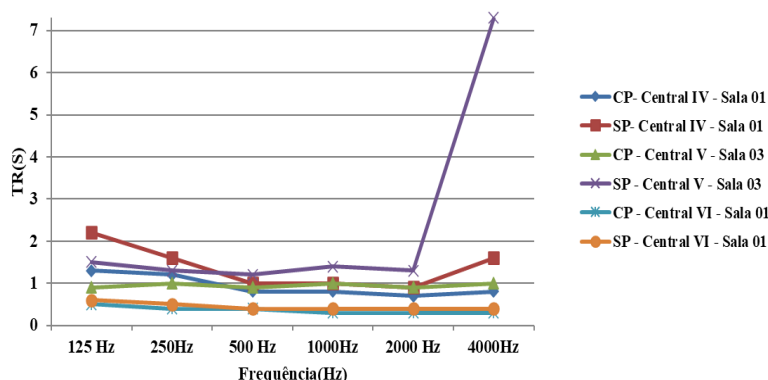


Figura 14: Gráfico com valores do tempo de reverberação calculados pela equação de Sabine – Salas sem a presença (SP) e com a presença de pessoas (CP).

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou analisar de maneira analítica os tempos de reverberação de três salas de Centrais de Aulas da UFERSA - Campus Leste de Mossoró, sendo a Central de Aulas IV (Sala 01), Central de Aulas V (Sala 03) e Central de Aulas VI (Sala 01). Para isso foi necessário buscar em artigos, fabricantes e fontes literárias os coeficientes de absorção sonora dos materiais e elementos presentes no interior das salas de aula. Sendo necessário em alguns casos realizar adequações necessárias, pelo fato de não serem encontrados especificamente os elementos ou materiais em questão. Sendo utilizado os métodos de Sabine e de Norris Eyring, para se obter os tempos de reverberação analíticos.

Constatou-se assim que somente a Sala 01 da Central de Aulas VI, obteve resultados satisfatórios com relação aos tempos de reverberação calculados, em comparação com os tempos ideais recomendados, mesmo considerando o pior cenário possível, que seria o ambiente sem presença de discentes e docentes. Os tempos de reverberação obtidos foram menores, provavelmente pelo fato do forro do local ser constituído de lã de vidro, que possui altos coeficientes de absorção sonoros, possibilitando uma maior absorção dos sons refletidos no interior do ambiente, assim como uma melhor compreensão do que está sendo dialogado em um canal de comunicação, conseqüentemente em um ambiente acusticamente mais confortável.

Tanto a Sala 01 da Central de Aulas IV, quanto à Sala 03 da Central de Aulas V, necessitam de um pouco mais de atenção com relação à qualidade acústica do ambiente, pois nas duas salas os tempos de reverberação obtidos foram um pouco distantes dos considerados ideais. Isso ocorreu possivelmente pelo fato de o forro presente no ambiente possuir baixos coeficientes de absorção, o que resultará na reflexão dos sons por mais tempo no ambiente, prejudicando assim a inteligibilidade da fala entre o professor e os alunos.

Para trabalhos futuros, recomenda-se que se determine os coeficientes de absorção de alguns elementos ou superfície de materiais, como: cadeiras de plástico, carteiras de plástico com braços, laje de concreto rebocada pintada; bem como, também se recomenda a continuidade de avaliação de outros parâmetros acústicos de sala como SNR, inteligibilidade, dentre outros.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COSTA, Alexandre Borges Ferreira da. Metodologia de Aplicação da NBR ISO 3382-2 e análise dos tempos de Reverberação das salas de aula do Prédio 11209 do Campus Centro da UFRGS. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p.27. 2020.
- [2] CAVALCANTE, Felipe Araujo. Conforto acústico em salas de aula no Campus Palmas do IFTO. 2019. Trabalho de conclusão de curso em Bacharelado em Engenharia Civil - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus Palmas, 2019.
- [3] DE MARCO, Conrado Silva. Elementos de Acústica Arquitetônica. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 128 p
- [4] COSTA, Ennio Cruz da. Acústica técnica. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2003. E-book. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- [5] SEEP, Benjamin; GLOSEMEYER, Robin; HULCE, Emily; LINN, Matt; AYTAR, Pamela. Acústica De Salas De Aulas. Revista Semestral da Sociedade Brasileira de Acústica- SOBRAC. Revista de Acústica e Vibrações - nº 29, Julho/2002.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3382-2 - Acústica - Medição dos parâmetros acústicos da sala - Parte 2: Tempo de reverberação em salas comuns. Rio de Janeiro, 2017.
- [7] BISTAFA, Sylvio. Acústica Aplicada ao Controle de Ruído. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2006. 368 p.
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12179 – Tratamento acústico em recintos fechados. Rio de Janeiro, 1992.
- [9] ZANNIN, Paulo Henrique Trombetta; FERREIRA, Andressa Maria Coelho; SANT'ANA, David Queiroz de. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 125-139, jul./set. 2009.

-
- [10] Department of Education. Building Bulletin 93. Acoustic Design of Schools: a design guide. London, 2015.
- [11] ANSI/ASA S12.60-2010/PART1, American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools. Estados Unidos: Acoustical Society of America (ASA), 2010.
- [12] FARIAS, João Roberto Gomes de. Software para cálculos de projetos acústicos. Disponível em: <<https://drive.google.com/uc?export=download&id=1IJVHVOq0hXm6i28c2hiMHn5J4OzJGisK>>. Acesso em: 19 de março 2024.
- [13] LEÃO, Loureley; CARVALHO, Maria Luísa; CLÍMACO, Rosana S. Laboratório de controle Ambiental (LACAM). Coeficientes de Absorção Sonora. Departamento de Tecnologia, Disc. Conforto Sonoro, 2006.
- [14] GOMES, Emmily Gersica Santos; LUCENA, Pedro Gomes de; CUNHA, Marcella Viana Portela de Oliveira; ALVES, Anderson Ramon Lopes. Análise acústica do Auditório Paulo Bonavides Nas Faculdades Integradas de Patos/PB. VI Encontro Naxional de Ergonomia do Ambiente Construído, Recife, 2016.
- [15] GAIDA, Claudia Rogeria. Caracterização das condições acústicas de salas de aula destinadas ao ensino da Música na Educação Básica. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2012.
- [16] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. ISOVER, Saint-Gobain Vidros S.A. Disponível em: <https://drive.google.com/uc?export=download&id=11aOqa_hMNClj0OUH4YBI7FZvM1G-49dC>. Acesso em: 05 de abril 2024.
- [17] COSTA, Daniel Temóteo Pereira da. Proposta de adequação acústica em auditório de uso múltiplo. Trabalho de conclusão de curso apresentado (Bacharelado em Engenharia Civil), Centro Universitário de Brasília (UNICEUB), Brasília, 2019.
- [18] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. ISOVER, Saint-Gobain Vidros S.A. Disponível em: <https://drive.google.com/uc?export=download&id=11aOqa_hMNClj0OUH4YBI7FZvM1G-49dC>. Acesso em: 05 de abril 2024.
- [19] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Elementos, Reverb. Disponível em: <<https://drive.google.com/uc?export=download&id=1Du9VEKjwP40nWEDNx5BL65BrLF812Cjx>>. Acesso em: 19 de março 2024.
- [20] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Superfícies, Reverb. Disponível em: <https://drive.google.com/uc?export=download&id=1kP_bWFBYp9rILvaGuXzuxvVPR3OtsoYU>. Acesso em: 19 de março 2024.
- [21] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Ambientes, Reverb. Disponível em: <<https://drive.google.com/uc?export=download&id=1f7bs8mVJ83XI03jHbYxT488wR20y8WAM>>. Acesso em: 19 de março 2024.

ANEXO A – TABELAS COM VALORES PARA COEFICIENTES DE ABSORÇÃO

Tabela 1A: Materiais e seus coeficientes de absorção sonora por banda de frequência de oitava

Material da Superfície	Absorção por banda de oitava (m²)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Quadro Branco [2]	0,250	0,000	0,180	0,000	0,100	0,000
Alvenaria pintada ou não [3]	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020
Piso de Granitina [2]	0,010	0,000	0,020	0,000	0,020	0,000
Azulejo [13]	0,010	0,000	0,012	0,015	0,000	0,000
Granito [13]	0,023	0,000	0,010	0,012	0,010	0,000
Janelas Envidraçadas [13]	0,350	0,250	0,180	0,120	0,070	0,040
Vidro Comum de Janela [8]	0,040	0,040	0,030	0,030	0,020	0,020
Porta de Madeira Compensada Fechada [14]	0,140	0,000	0,060	0,000	0,100	0,000
Forro de PVC [15]	0,140	0,100	0,060	0,050	0,040	0,030
Mesa - Madeira compensado de 3 a 50mm da parede, espaço vazio [8]	0,250	0,340	0,180	0,100	0,100	0,060
Forro Prisma lã de vidro 25mm [16]	0,660	0,740	0,790	0,900	0,870	0,890
Concreto Rebocado [4]	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018

Fonte: Reverb (2010) [12].

Tabela 2A: Elementos e seus coeficientes de absorção sonora por banda de frequência de oitava.

Nome do elemento	Absorção por banda de oitava (m²)					
	125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
Estudante, sentado, incluindo carteira - nível superior [19]	0,200	0,280	0,310	0,370	0,410	0,420
Adulto em pé [3]	0,185	0,325	0,440	0,420	0,460	0,370
Cadeira com estofado leve, desocupada [19]	0,440	0,540	0,600	0,620	0,580	0,500
Cadeira de Plástico [17]	0,000	0,160	0,200	0,220	0,250	0,000
Cadeira escolar, vazia [15]	0,020	0,020	0,030	0,040	0,060	0,080

Fonte: Reverb (2010) [12]