

AVALIAÇÃO ACÚSTICA DOS AUDITÓRIOS DA UFRSA: TEMPO DE REVERBERAÇÃO COMO FATOR DETERMINANTE NA QUALIDADE DO SOM.

Erick Saul Alves Simião Pereira¹ Márcio Furukava²

Resumo: Os auditórios desempenham um papel crucial na disseminação do conhecimento e na promoção de interações entre comunidades acadêmicas e públicas. A qualidade acústica desses espaços é fundamental para garantir uma experiência auditiva satisfatória para os usuários. Este estudo concentra-se na avaliação acústica dos auditórios da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFRSA), com foco no tempo de reverberação como fator determinante na qualidade do som. A análise busca compreender como as características estruturais e os materiais de revestimento dos auditórios influenciam na reverberação do som, um dos principais parâmetros que definem a qualidade acústica de um ambiente. O tempo de reverberação é crucial não apenas para a clareza da fala e a inteligibilidade musical, mas também para a sensação de conforto e imersão sonora dos espectadores. O estudo apresenta uma análise detalhada dos resultados obtidos por meio de medições e cálculos acústicos realizados nos auditórios mencionados. A metodologia empregada envolveu a utilização de software especializado para modelagem 3D e cálculo dos tempos de reverberação, além de medições experimentais. Os resultados indicam que os tempos de reverberação são afetados pela ocupação do auditório e pela frequência sonora. O método de Norris Eyring tende a produzir valores menores de tempo de reverberação em comparação com o método de Sabine. Apesar dos auditórios da UFRSA apresentarem tempos de reverberação abaixo do indicado para auditórios, sugere-se a utilização de métodos de projeção mais precisos e medições experimentais para uma avaliação mais abrangente do ambiente acústico.

Palavras-chave: auditório; tempo de reverberação; coeficiente de absorção; materiais.

1. INTRODUÇÃO

Os auditórios desempenham um papel crucial na disseminação do conhecimento, na realização de eventos acadêmicos e culturais, e na promoção de interações entre comunidades acadêmicas e públicas. A qualidade acústica desses espaços é fundamental para garantir uma experiência auditiva satisfatória para os usuários. Neste contexto, a avaliação acústica torna-se uma ferramenta indispensável para identificar e melhorar aspectos que impactam diretamente na percepção do som pelos ouvintes.

Este estudo busca verificar se os auditórios da Universidade Federal Rural do Semi-árido (UFRSA), localizada em Mossoró/RN, possuem um tempo de reverberação ideal, segundo de Marco em "Elementos de Acústica Arquitetônica". Os auditórios em questão - Auditório do Centro de Engenharia, Auditório do Centro de Engenharia II e Auditório da Pró-Reitoria de Extensão e Cultura (PROEC) - desempenham papéis diversos na vida acadêmica e cultural da universidade, atendendo a diferentes demandas e necessidades de público.

A avaliação acústica visa compreender como as características estruturais e os materiais de revestimento dos auditórios influenciam na reverberação do som, um dos principais parâmetros que definem a qualidade acústica de um ambiente. O tempo de reverberação é crucial não apenas para a clareza da fala e a inteligibilidade musical, mas também para a sensação de conforto e imersão sonora dos espectadores.

Neste contexto, este artigo apresenta uma análise detalhada dos resultados obtidos por meio de medições e cálculos acústicos realizados nos auditórios mencionados. A seção de fundamentação teórica aborda conceitos essenciais da acústica, destacando a importância do som, do tempo de reverberação, da absorção acústica, da relação sinal-ruído e da inteligibilidade da fala. Posteriormente, a metodologia descreve o processo de avaliação acústica realizado nos auditórios, incluindo os procedimentos de medição, cálculo e análise dos resultados.

Ao compreender as características acústicas desses espaços, será possível propor recomendações e melhorias que visam otimizar a qualidade do som, proporcionando experiências auditivas mais satisfatórias para os usuários dos auditórios da UFRSA.

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

² Orientador, Docente da UFRSA, Campus Mossoró.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA ACÚSTICA

SOM

O som é resultado das vibrações dos corpos elásticos quando essas vibrações ocorrem dentro de determinados limites de frequência, conhecidas como vibrações sonoras. Tais vibrações se propagam através do meio circundante, gerando compressões e distensões sucessivas que se movem com velocidade uniforme em todas as direções, caso o meio seja isotrópico. O som se propaga por meio de impulsos ocasionados no meio ao redor da fonte sonora, provocando deformações transitórias que se deslocam longitudinalmente conforme a onda de pressão criada [1].

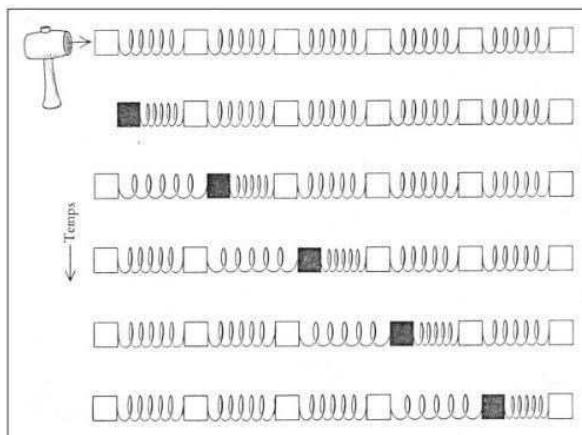


Figura 1. Fonte: J. Pierce, Le son musicale [2].

Adicionalmente, o som apresenta energia que, devido a resistências no meio, como atrito e obstáculos, é restituída ao meio, podendo ser transferida para obstáculos ou convertida em calor devido à viscosidade do meio. A percepção sonora ocorre devido à ação mecânica das vibrações elásticas do meio sobre o órgão auditivo. A velocidade de propagação do som é função das propriedades do meio, como seu módulo de elasticidade e densidade [1].

A altura, intensidade e timbre são qualidades que caracterizam uma onda sonora, sendo a altura relacionada à frequência das vibrações sonoras, o timbre à composição harmônica da onda sonora e a intensidade à amplitude da onda sonora, medida em potência sonora por unidade de superfície. A frequência de uma onda sonora corresponde ao número de vibrações completas executadas pela mesma em um segundo, medida em hertz (Hz), onde apenas as vibrações dentro de certos limites de frequência são audíveis pelo ser humano [1].

A frequência é descrita como o número de vezes que uma onda sonora completa um ciclo em um segundo, medida em ciclos por segundo (cps) ou Hertz (Hz). Esta medida nos proporciona a percepção de sons graves (baixas frequências) e agudos (altas frequências). As diretrizes internacionais sugerem a análise principalmente das frequências compreendidas nas faixas de 125 Hertz e seus múltiplos, como 250, 500, 1000, 2000 e 4000 Hz [3].

TEMPO DE REVERBERAÇÃO

O tempo de reverberação é uma medida da persistência do som em um ambiente após a cessação da fonte sonora. Ele é definido como o tempo necessário para que o nível de pressão sonora decaia em 60 decibéis a partir do instante em que a fonte é desligada. O tempo de reverberação é um dos principais parâmetros para avaliar a qualidade acústica de uma sala, pois influencia na inteligibilidade da fala, na clareza musical e na sensação de espacialidade [4].

A análise do tempo de reverberação pode ser feita de forma teórica ou experimental. A forma teórica consiste em aplicar fórmulas empíricas que relacionam o tempo de reverberação com o volume da sala, a área total das superfícies internas e os coeficientes de absorção sonora dos materiais que as revestem.

De acordo com a NBR 12179 [4], o cálculo do tempo de reverberação se dá a partir da equação de Sabine:

$$TR = \frac{0,161 V}{S \alpha} \text{ (s)} \quad \text{Eq 1.}$$

- V é o volume local em m^3
- S área de cada material aplicado no interior do ambiente em m^2
- “ α ” são os coeficientes de absorção das superfícies e dos elementos absorventes no ambiente.

A absorção total é dada por:

$$S\alpha = S_1\alpha_1 + S_2\alpha_2 + \dots + S_n\alpha_n \quad \text{Eq 2.}$$

Contudo, ainda de acordo com a NBR 12179, caso o coeficiente médio de absorção α_m seja maior que 0.30, o tempo de reverberação deve ser dado a partir da equação de Eyring:

$$TR = \frac{0,161 V}{-S \ln (1-\alpha)} \quad \text{(s)} \quad \text{Eq 3.}$$

- V é o volume local em m³
- S é área de cada material aplicado no interior do ambiente em m²

O coeficiente médio de absorção é dado por:

$$\alpha_m = \frac{At}{St} \quad \text{Eq 4.}$$

- At é a de absorção total em m².
- St é a área total em m².

O nível de som do recinto deve ser fixado de acordo com a NBR 10152:2017. Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações [5].

A forma experimental consiste em medir o tempo de reverberação com o auxílio de equipamentos adequados, como um gerador de ruído, um microfone, um analisador de espectro e um gravador. O método mais comum é o de ruído interrompido, que consiste em emitir um ruído de banda larga na sala, interrompê-lo abruptamente e registrar a curva de decaimento do som. A partir dessa curva, é possível calcular o tempo de reverberação em diferentes bandas de frequência, usando um critério de interpolação linear ou exponencial. Outros métodos, como o de ruído estacionário, o de impulso e o de resposta ao impulso, também podem ser utilizados, dependendo das características da sala e da fonte sonora.

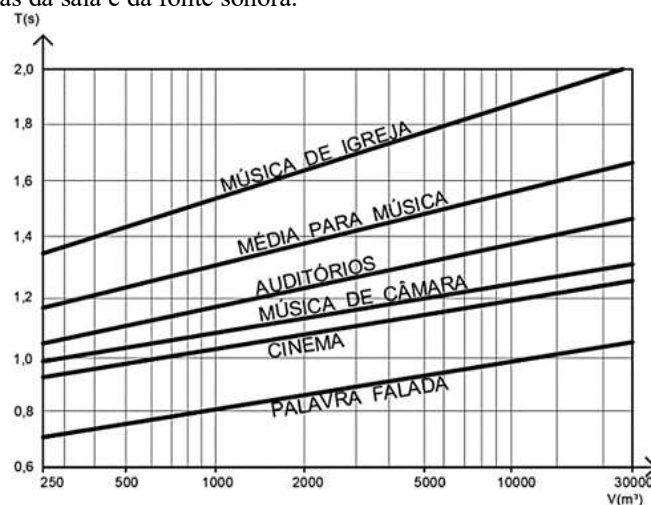


Figura 2. Fonte: DE MARCO [6].

ABSORÇÃO ACÚSTICA

A absorção sonora é um processo onde a energia sonora que incide em um material é absorvida por ele, ao invés de ser refletida de volta para o ambiente. Em outras palavras, o som "penetra" no material, ao invés de ser refletido [7].

Materiais específicos são projetados para absorver o som, tornando os ambientes menos reverberantes e mais confortáveis para a audição humana. Esses materiais geralmente são moles, leves e porosos, como lãs, feltros, carpetes e espumas. Os absorvedores sonoros são amplamente utilizados em ambientes onde a qualidade acústica é crucial, como restaurantes, auditórios, teatros, salas de aula e estúdios de gravação. Em estúdios musicais, por exemplo, eles ajudam a controlar a reverberação e garantir uma qualidade sonora adequada [7].

Cada material possui um coeficiente de absorção específico, representado pela letra “ α ”, que varia de acordo com sua superfície, densidade e espessura. Esse coeficiente é calculado a partir da razão entre a energia sonora absorvida e a energia total incidente na superfície, por bandas de frequência. Geralmente, os valores variam entre 0 e 1, sendo que valores próximos de 1 indicam uma alta capacidade de absorção, enquanto valores próximos de 0 indicam baixa absorção [7].

RELAÇÃO SINAL E RUÍDO

A relação sinal-ruído (SNR - signal-to-noise ratio) é uma medida que compara o nível de sinal desejado com o ruído presente na saída do equipamento. Quanto maior a distância entre o sinal e o ruído, melhor a qualidade do sinal transmitido, sem distorções perceptíveis. Geralmente expressa em decibéis (dB), a SNR é calculada subtraindo o "noise floor" (nível de ruído de fundo) do valor de Dynamic Range do equipamento. O "noise floor" pode originar-se de diversas fontes, incluindo componentes internos, interferências externas e reflexões ambientais. A minimização do ruído e a escolha de equipamentos de qualidade são essenciais para garantir uma transmissão de sinal limpa e sem distorções [8].

A relação pode ser calculada por:

$$P_{sinal,dB} = 10 \log_{10} (P_{sinal}) \quad \text{Eq 5.}$$

$$P_{ruído,dB} = 10 \log_{10} (P_{ruído}) \quad \text{Eq 6.}$$

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{sinal}}{P_{ruído}} \right) \quad \text{Eq 7.}$$

- P_{sinal} – é a potência do sinal desejado;
- $P_{ruído}$ – é a potência do ruído presente;

INTELIGIBILIDADE DA FALA

A inteligibilidade da fala pode ser definida como a proporção de itens da fala corretamente repetidos pelo ouvinte em um teste de inteligibilidade da fala [9]. Enquanto a qualidade sonora está relacionada à qualidade do sinal reproduzido, a inteligibilidade da fala está relacionada ao número de itens da expressão falada compreendidos corretamente pelo ouvinte [10]. A preocupação com as características acústicas das salas de aula está diretamente relacionada à inteligibilidade da fala, uma vez que a comunicação verbal pode ser pouco inteligível devido ao meio de transmissão utilizado [11], [12] e [13]. Segundo a Norma IEC 60268-16 [14], a inteligibilidade da fala pode ser classificada de acordo com a faixa de STI e avaliação subjetiva do ambiente (Tabela 1).

Tabela 1: Avaliação de inteligibilidade da fala segundo a norma IEC 60268-16 [14].

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.* [15].

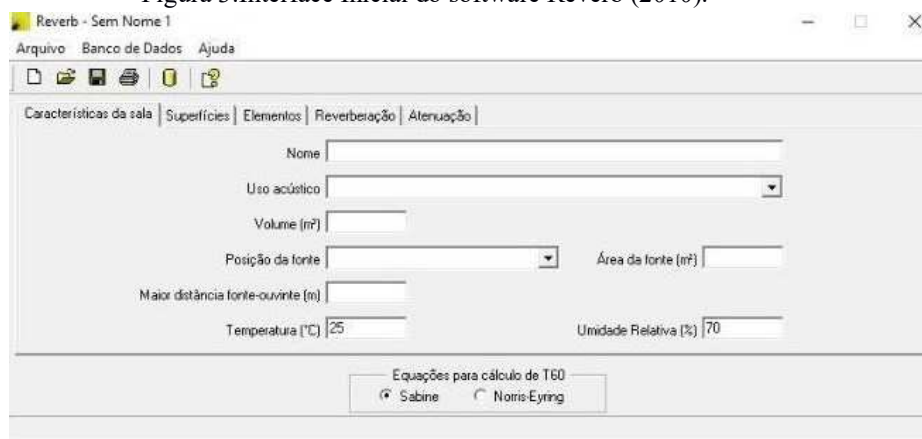
3. METODOLOGIA

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

A pesquisa foi realizada nos Auditórios da Universidade Federal Rural do Semi-árido - UFERSA, situada em Mossoró/RN, durante o período de março a abril de 2024. O cálculo do tempo de reverberação foi realizado utilizando as formulações de Wallace Clement Sabine e Norris Eyring, por meio do aplicativo Reverb desenvolvido por João Roberto Gomes de Faria, conforme mostrado na Figura. Este aplicativo permite a inclusão e seleção dos coeficientes de absorção dos materiais, os quais podem ser obtidos a partir do banco de dados do

software, de fontes literárias, da NBR 12179, de artigos científicos, teses e revistas especializadas na área. Adicionalmente, o software REVIT foi empregado para a modelagem 3D e para o cálculo das áreas e volumes dos auditórios.

Figura 3: Interface Inicial do software Reverb (2010).



Fonte: Reverb (João, 2010)

Posteriormente, os tempos de reverberação calculados pelo software Reverb serão confrontados com os valores considerados apropriados para o ambiente em questão. Dado que as normas brasileiras não definem um tempo de reverberação ideal para auditórios, optou-se por adotar os tempos de reverberação (TR) propostos por De Marco, Figura 2.

O software Reverb, ao aplicar a equação de Norris Eyring para calcular os tempos de reverberação, não leva em conta os objetos presentes no ambiente. Diante disto, a equação de Norris Eyring foi aplicada em Excel, junto ao tabelamento. Em certos materiais ou elementos, algumas frequências têm um coeficiente de absorção considerado zero devido à falta de inclusão em determinados artigos ou fontes bibliográficas, à ausência de especificações dos fabricantes ou à posse de um coeficiente de absorção próximo ou igual a zero.

Auditório do Centro de Engenharia

O Auditório do Centro de Engenharia apresenta área total de 108.26 m², com capacidade para 79 espectadores sentados, sendo 76 cadeiras fixas e 3 cadeiras no palco. A área de plateia é escalonada, com a utilização de degraus de 10cm, em 5 fileiras. O palco apresenta área de 21.39 m², com elevação de 0,30 m em relação ao piso da primeira fileira. O sistema de cobertura/forro é plano. O volume total é de 545.44 m³. As informações acerca do levantamento cadastral podem ser visualizadas nas Figuras 4 e 5.

Figura 4: Modelagem em 3D do Interior do Auditório.

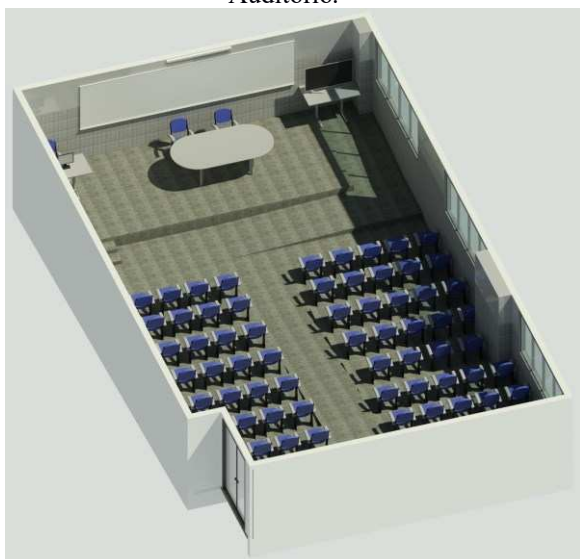


Figura 5: Vista interna do Auditório.



Fonte: Autoria própria

Tabela 1: Materiais, áreas/quantidade – Auditório CE.

MATERIAIS	S Área (m²) ou N°
Cadeiras Estofadas	79
Quadro Branco	1
Piso Granilite	108,26
Revestimento das Paredes (Azulejos)	74,35
Forro Mineral	108,26
Janelas Envidraçadas	3
Peitoril em Granito	8,7
Alvenaria Paredes	31,39
Concreto Rebocado	31,39
Mesas	3
Porta Madeira	1

Auditório do Centro de Engenharia II

O Auditório do Centro de Engenharia II apresenta uma área total de 110,65 m², com capacidade para 79 espectadores sentados, sendo 79 cadeiras. A área de plateia é plana, sem palco. O sistema de cobertura/forro é plano. O volume total é de 269,80 m³. As informações acerca do levantamento cadastral podem ser visualizadas nas Figuras 6, 7 e 8.

Figura 6: Vista interna do Auditório lado direito.



Figura 7: Vista interna do Auditório lado esquerdo.

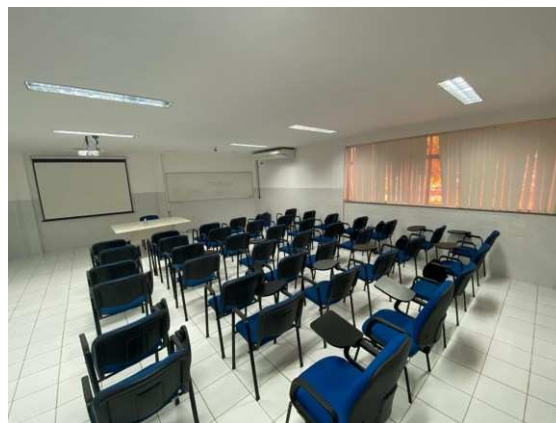
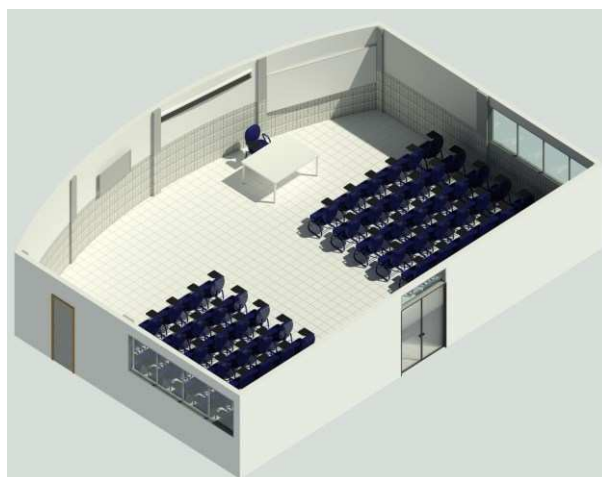


Figura 8: Modelagem em 3D do Interior do Auditório



Fonte: Autoria própria

Tabela 2: Materiais, áreas/quantidade – Auditório CE II.

MATERIAIS	S Área (m²) ou N°
Cadeiras Estofadas	79
Quadro Branco	1
Piso Cerâmico	110,65
Revestimento das Paredes (Azulejos)	51,16
Forro Lã Mineral	110,65
Janelas Envidraçadas	2
Peitoral em Granito	7,3
Alvenaria Paredes	46,48
Concreto Rebocado	46,48
Mesas	1
Porta Vidro	1

Auditório da Pró-Reitoria de Extensão e Cultura - PROEC

O Auditório da PROEC apresenta área total de 155,60 m², com capacidade para 108 espectadores sentados, sendo 100 cadeiras fixas e 8 cadeiras no palco. A área de plateia é escalonada, com a utilização de degraus de 10 cm, em 9 fileiras. O palco apresenta área de 37,21 m², com elevação de 0,80 m em relação ao piso da primeira fileira. O sistema de cobertura/forro é plano. O volume total é de 466,80 m³. As informações acerca do levantamento cadastral podem ser visualizadas nas Figuras 8, 9 e 10.

Figura 8: Vista interna do Auditório.

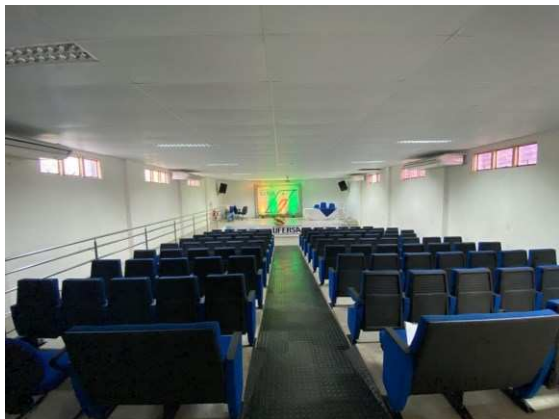
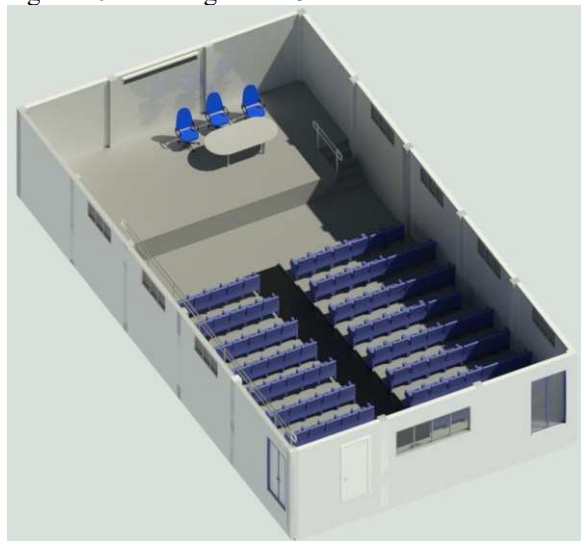


Figura 9: Vista interna do Auditório.



Figura 10: Modelagem em 3D do Interior do Auditório



Fonte: Autoria própria

Tabela 3: Materiais, áreas/quantidade – Auditório PROEC.

MATERIAIS	S Área (m²) ou N°
Cadeiras Estofadas	108
Pessoas Sentadas	108
Piso Granilite	108,26
Forro Mineral	108,26
Janelas Envidraçadas	8
Alvenaria Paredes	31,39
Concreto Rebocado	31,39
Mesas	1
Porta Vidro	1

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 - RESULTADOS ANALÍTICOS TEMPO DE REVERBERAÇÃO

Utilizando o Método de Sabine:

- Auditório CE (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação são ligeiramente mais baixos quando o auditório está cheio em comparação com quando está vazio, indicando uma possível absorção adicional do som devido à presença de pessoas.
- Auditório CE II (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação são consistentemente baixos, tanto quando vazio quanto quando cheio, sugerindo que a presença de pessoas não afeta significativamente a acústica do ambiente.
- Auditório PROEC (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação aumentam em todas as frequências quando o auditório está cheio em comparação com quando está vazio, indicando uma possível diminuição da absorção sonora devido à presença de pessoas.

Os resultados sugerem que a ocupação dos auditórios afeta os tempos de reverberação, especialmente em frequências mais altas. No entanto, cada auditório tem suas próprias características acústicas distintas, com o Auditório CE II mostrando uma melhor absorção sonora em comparação com os outros dois auditórios. Essas observações podem fornecer insights importantes para melhorias na qualidade acústica dos auditórios, como ajustes nos materiais de revestimento ou na disposição do mobiliário, dependendo das necessidades específicas de cada espaço. Conforme o gráfico abaixo da Figura 11, utilizando as tabelas 1A a 1F, presente no Anexo B, com os tempos de reverberação.

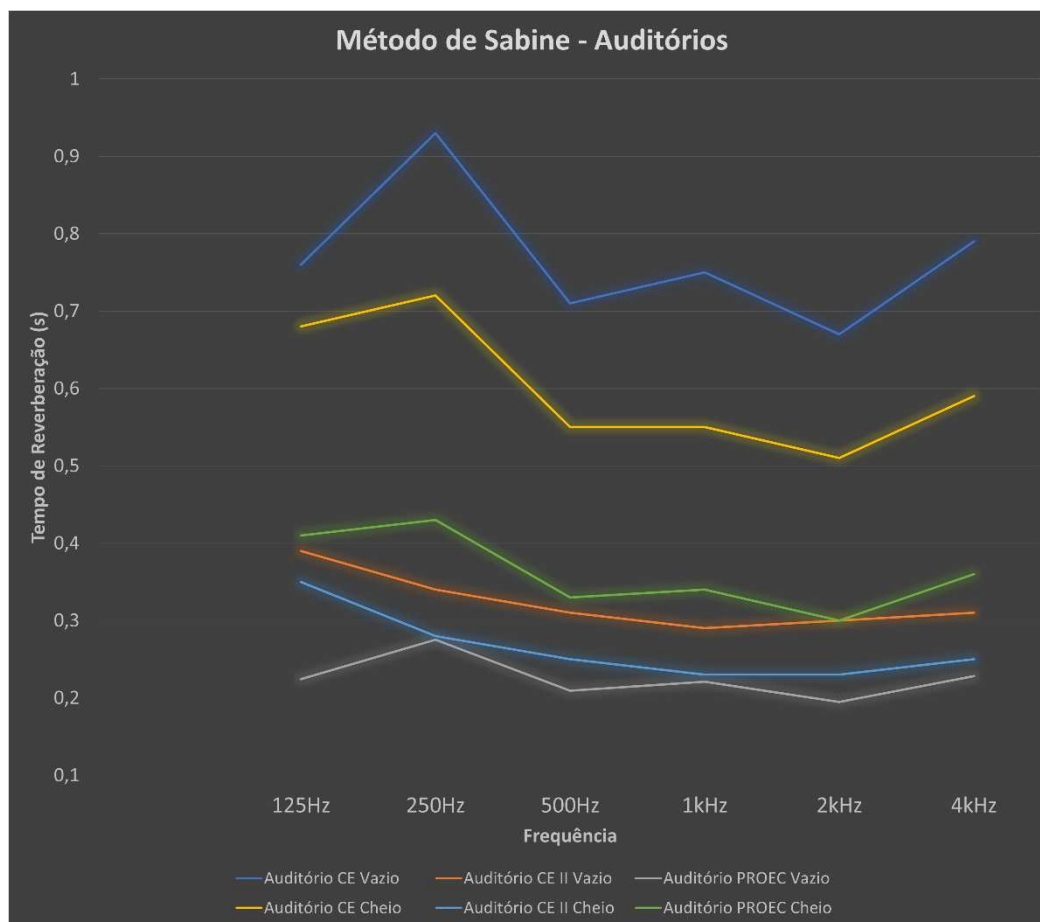


Figura 11: Gráfico com os tempos de reverberação com o método de Sabine.

- Auditório CE (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação são ligeiramente mais baixos quando o auditório está cheio em comparação com quando está vazio, indicando uma possível absorção adicional do som devido à presença de pessoas.
- Auditório CE II (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação permanecem consistentemente baixos, tanto quando vazio quanto quando cheio, sugerindo que a presença de pessoas não afeta significativamente a acústica do ambiente.
- Auditório PROEC (Vazio vs. Cheio): Os tempos de reverberação aumentam em todas as frequências quando o auditório está cheio em comparação com quando está vazio, indicando uma possível diminuição da absorção sonora devido à presença de pessoas.

Os resultados sugerem que a ocupação dos auditórios afeta os tempos de reverberação, especialmente em frequências mais altas. No entanto, cada auditório tem suas próprias características acústicas distintas, com o Auditório CE II mostrando uma melhor absorção sonora em comparação com os outros dois auditórios. Essas observações podem fornecer insights importantes para melhorias na qualidade acústica dos auditórios, como ajustes nos materiais de revestimento ou na disposição do mobiliário, dependendo das necessidades específicas de cada espaço. Conforme o gráfico abaixo da Figura 12, utilizando as tabelas 1L a 1G, presente no Anexo B, com os tempos de reverberação.

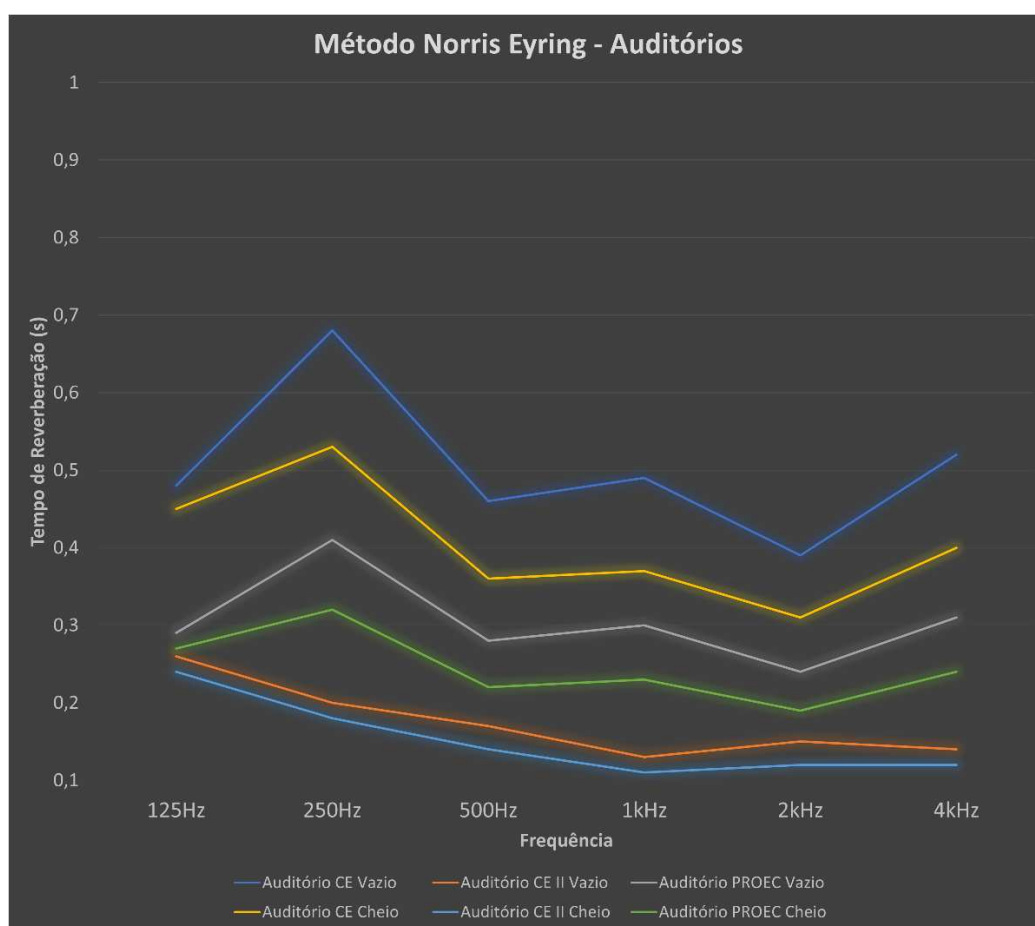


Figura 12: Gráfico com os tempos de reverberação com o método de Eyring.

5. CONCLUSÕES

Os tempos de reverberação obtidos pelo Método de Norris Eyring são geralmente menores do que aqueles obtidos pelo Método de Sabine para os mesmos cenários. Ambos os métodos mostram que os tempos de reverberação tendem a ser menores quando os auditórios estão cheios, diminuem com o aumento da frequência. A ocupação do auditório afeta significativamente os tempos de reverberação, com valores ligeiramente menores

quando o auditório está cheio. A frequência também influencia os tempos de reverberação, com valores mais baixos em frequências mais altas. No entanto, é importante notar que os tempos de reverberação variam, especialmente que materiais analisados não possuíam coeficientes de absorção, sendo considerado igual a zero em algumas frequências, devido à falta de referências bibliográficas e estudos específicos. Além disso, o Método de Norris Eyring tende a produzir valores menores de tempo de reverberação em comparação com o Método de Sabine. A ocupação do auditório afeta significativamente os tempos de reverberação, com valores ligeiramente menores quando o auditório está cheio. A frequência também influencia os tempos de reverberação, com valores mais baixos em frequências mais altas.

Além disso, é importante observar que os três auditórios (CE, CE II e PROEC) da UFERSA atingiram um tempo de reverberação bem abaixo do indicado para auditórios conforme recomendação de Marco [6], Conrado Silva em "Elementos de Acústica Arquitetônica". Para trabalhos futuros, seria ótimo verificar quais os tipos de materiais/métodos construtivos são mais indicados para melhorar a acústica dos auditórios, considerando diferentes cenários e necessidades específicas. Além disso, é importante analisar se os auditórios da universidade estão aptos a receber alunos com o espectro autista, considerando a relação Sinal-Ruído e determinando quais tipos de frequência seriam mais adequados para garantir um ambiente acusticamente confortável para eles. Também seria relevante realizar análises em auditórios externos fora da UFERSA para comparar e contrastar os resultados com os auditórios internos da universidade. Seria interessante realizar medições utilizando medidores específicos para medir o tempo de reverberação prático e compará-los com o tempo de reverberação experimental, além dos dados obtidos por meio da abordagem de Marco [6], no qual devem ser incluídos objetos elétricos, como lâmpadas, ar-condicionados, projetores, entre outros, para uma modelagem mais completa e realista dos espaços, contribuindo assim para uma análise mais abrangente da acústica dos auditórios, possibilitando uma avaliação mais precisa e abrangente do ambiente acústico dos auditórios da UFERSA. Sugere-se ainda a utilização do Revit como meio de projeção, incorporando a absorção do material na listagem dos materiais do software.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] COSTA, E.C. da. Acústica Técnica. São Paulo: Edgar Blücher, 2003. Acesso em: 10 de março 2024.
- [2] Pierce, J. Le son musicale. Paris: Belin, 1983. Acesso em: 10 de março 2024.
- [3] Simões, Flávio Maia. Acústica Arquitetônica. Rio de Janeiro, agosto/2011. Acesso em: 10 de março 2024.
- [4] ABNT. NBR 12179:1992. Acústica - Avaliação do isolamento acústico em edificações pelo método de medição do nível de pressão sonora. Rio de Janeiro, 1992. Acesso em: 12 de março 2024.
- [5] ABNT. NBR 10152:2017. Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações - Procedimento. Rio de Janeiro, 2017. Acesso em: 12 de março 2024.
- [6] DE MARCO, Conrado Silva. Elementos de Acústica Arquitetônica. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1982. 128 p. Acesso em: 15 de março 2024.
- [7] SOFIA. Falando de Acústica. Difusão e Absorção. Disponível em: <<https://www.falandodeacustica.com/post/difus%C3%A3o-e-absor%C3%A7%C3%A3o>>. Acesso em: 17 de março 2024.
- [8] MAGROOVE. Relação Sinal Ruído – SNR e como ela pode destruir sua gravação! 2019. Disponível em: <<https://magroove.com/blog/pt-br/relacao-sinal-ruído/>>. Acesso em: 18 de março de 2023.
- [9] BRAND, T. Speech Intelligibility. In: Handbook of Signal Processing in Acoustics. Oldenburg, Germany: Springer New York, 2008. p. 197– 204. Acesso em: 19 de março 2024.
- [10] ALVES, E. V. Estudo das condições acústicas de auditórios. Universidade de Aveiro, Portugal, 2008. Acesso em: 19 de março 2024.
- [11] HODGSON, M. Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms. Applied Acoustics, 2004. Acesso em: 19 de março 2024.
- [12] HODGSON, M.; NOSAL, E.-M. Effect of noise and occupancy on optimal reverberation times for speech intelligibility in classrooms. The Journal of the Acoustical Society of America, v. 111, n. 2, p. 931, 2002. Acesso em: 19 de março 2024.
- [13] SILVA, C. M. F. O Tempo de Reverberação e a Inteligibilidade da Palavra - Caso de estudo: salas de aula da

[14] ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR IEC 60268-16:2018. Sistemas e equipamentos eletroacústicos - Parte 16: Medição de parâmetros técnicos de sistemas de som em áreas abertas - Método de medição de nível sonoro e nível de pressão sonora em ambientes externos. Rio de Janeiro, 2018. Acesso em: 22 de março 2024.

[15] 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. Acesso em: 22 de março 2024.

[16] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Elementos, Reverb. Disponível em: <<https://drive.google.com/uc?export=download&id=1Du9VEKjwP40nWEDNx5BL65BrLF812Cjx>>. Acesso em: 28 de março 2024.

[17] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Superfícies, Reverb. Disponível em: <https://drive.google.com/uc?export=download&id=1kP_bWFBYp9rILvaGuXzuxvVPR3OtsoYU>. Acesso em: 28 de março 2024.

[18] COEFICIENTES DE ABSORÇÃO ACÚSTICA. Ambientes, Reverb. Disponível em: <<https://drive.google.com/uc?export=download&id=1f7bs8mVJ83Xl03jHbYxT488wR20y8WAM>>. Acesso em: 28 de março 2024.

ANEXO A – TABELAS COM VALORES PARA COEFICIENTES DE ABSORÇÃO, ABSORÇÃO TOTAL E TEMPO DE REVERBERAÇÃO.

Tabela 1A: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditério CE Vazio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Granilite	108.26	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	74.35	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Mineral	108.26	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	3	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoril em Granito	8.7	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	31.39	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	31.39	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	3	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Madeira	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		115,4	93,81	123,3	116,95	131,14	111,4
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,76	0,93	0,71	0,75	0,67	0,79

Tabela 1B: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE Cheio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	79	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Granilite	108,26	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	74,35	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Mineral	108,26	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	3	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoril em Granito	8,7	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	31,39	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	31,39	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	3	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Madeira	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		128,78	122,33	160,43	158,03	173,01	147,7
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,68	0,72	0,55	0,55	0,51	0,59

Tabela 1C: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE II Vazio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Cerâmico	110,65	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	51,16	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Lã Mineral	110,65	0,66	0,74	0,79	0,9	0,87	0,89
Janelas Envidraçadas	2	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoril em Granito	7,3	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	46,48	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	46,48	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		111,8	126,36	140,07	151,43	146,53	139,88
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,39	0,34	0,31	0,29	0,30	0,31

Tabela 1D: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE II Cheio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	79	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Cerâmico	110,65	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	51,16	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Lã Mineral	110,65	0,66	0,74	0,79	0,9	0,87	0,89
Janelas Envidraçadas	2	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoril em Granito	7,3	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	46,48	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	46,48	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		125,23	154,88	177,2	192,51	188,4	176,22
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,35	0,28	0,25	0,23	0,23	0,25

Tabela 1E: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório PROEC Vazio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	108	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Piso Granilite	155,6	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Forro Mineral	155,6	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	8	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Alvenaria Paredes	160,41	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	160,41	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
Porta Madeira	2	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		164,5	134,0	176,3	167,2	189,3	161,6
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,22	0,28	0,21	0,22	0,19	0,23

Tabela 1F: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório PROEC Cheio - Método Sabine							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	108	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	108	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Piso Granilite	155,6	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Forro Mineral	155,6	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	8	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Alvenaria Paredes	160,41	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	160,41	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
Porta Madeira	2	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		182,87	173,04	227,07	223,31	246,59	211,3
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,41	0,43	0,33	0,34	0,3	0,36

Tabela 1G: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE Vazio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Granilite	108,26	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	74,35	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Mineral	108,26	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	3	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoral em Granito	8,7	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	31,39	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	31,39	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	3	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Madeira	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		181,38	128,84	191,74	178,71	222,80	169,92
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (s)		0,48	0,68	0,46	0,49	0,39	0,52

Tabela 1H: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE Cheio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	79	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Granilite	108,26	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	74,35	0,01	0	0,012	0,015	0	0

Forro Mineral	108,26	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	3	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoral em Granito	8,7	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	31,39	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	31,39	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	3	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Madeira	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		196,10	164,22	241,90	236,69	282,45	218,60
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (S)		0,45	0,53	0,36	0,37	0,31	0,40

Tabela 1I: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE II Vazio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Cerâmico	110,65	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	51,16	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Lã Mineral	110,65	0,66	0,74	0,79	0,9	0,87	0,89
Janelas Envidraçadas	2	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoral em Granito	7,3	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	46,48	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	46,48	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		169,45	212,37	250,45	334,13	298,79	300,92
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (S)		0,26	0,20	0,17	0,13	0,15	0,14

Tabela 1J: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório CE II Cheio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	79	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	79	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Quadro Branco	1	0,25	0	0,18	0	0,1	0
Piso Cerâmico	110,65	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Revestimento Azulejos	51,16	0,01	0	0,012	0,015	0	0
Forro Lã Mineral	110,65	0,66	0,74	0,79	0,9	0,87	0,89
Janelas Envidraçadas	2	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Peitoral em Granito	7,3	0,023	0	0,01	0,012	0,01	0
Alvenaria Paredes	46,48	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	46,48	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018

Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		184,17	247,75	300,60	392,11	358,44	349,60
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (S)		0,24	0,18	0,14	0,11	0,12	0,12

Tabela 1K: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório PROEC Vazio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	108	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Piso Granilite	155,6	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Forro Mineral	155,6	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	8	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Alvenaria Paredes	160,41	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	160,41	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
Porta Madeira	2	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		258,77	182,99	272,93	254,03	319,53	244,76
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (S)		0,29	0,41	0,28	0,30	0,24	0,31

Tabela 1L: Materiais, Elementos e seus coeficientes de absorção sonora, absorção total e tempo de reverberação por banda de frequência de oitava [16], [17] e [18].

Auditório PROEC Cheio - Método Norris Eyring							
MATERIAIS	S	FREQUÊNCIA					
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz
		<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>	<i>I</i>
Cadeiras Estofadas	108	0,44	0,54	0,6	0,62	0,58	0,5
Pessoas Sentadas	108	0,17	0,361	0,47	0,52	0,53	0,46
Piso Granilite	155,6	0,01	0	0,02	0	0,02	0
Forro Mineral	155,6	0,7	0,45	0,65	0,6	0,75	0,65
Janelas Envidraçadas	8	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Alvenaria Paredes	160,41	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Concreto Rebocado	160,41	0,009	0,011	0,014	0,016	0,017	0,018
Mesas	1	0,25	0,34	0,18	0,1	0,1	0,06
Porta Vidro	1	0,14	0	0,06	0	0,1	0
Porta Madeira	2	0,14	0	0,06	0	0,1	0
ABSORÇÃO TOTAL		278,89	231,36	341,50	333,30	401,08	311,30
TEMPO DE REVERBERAÇÃO (S)		0,27	0,32	0,22	0,23	0,19	0,24