XXI ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído
14 a 16 de outubro de 2026 | Goiânia-Brasil
DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8782

Avaliação do condicionamento acústico de uma sala de aula com o uso de painéis de lã de rocha

Evaluation of the acoustic performance of a classroom with rock wool panels

Rodrigo Scoczynski Ribeiro
UTFPR | Curitiba | Brasil | rodrigosribeiro@utfpr.edu.br
Caroline Sobolevski Pacheco
UTFPR | Curitiba | Brasil | carolinepacheco@alunos.utfpr.edu.br
Dyorgge Alves Silva
UTFPR | Paraná | Curitiba | Brasil | dyorggeasilva@utfpr.edu.br
Rodrigo Eduardo Catai
UTFPR| Curitiba| Brasil | catai@utfpr.edu.br

Resumo

Este estudo tem como objetivo avaliar o desempenho acústico, com foco no tempo de reverberação, de uma sala de aula universitária antes e após a instalação de painéis de lã de rocha nas paredes, além de verificar a influência do revestimento com véu de fibra de vidro na absorção sonora. A metodologia consistiu em medições *in situ*, conforme a norma ABNT NBR ISO 3382-1, e simulações computacionais com os softwares Sketchup e Raven, avaliadas com base no tempo de reverberação ótimo. Os principais resultados demonstraram que o tempo de reverberação médio da sala vazia diminuiu de 1,57 segundos para valores inferiores a 1,00 segundo nas frequências de 1, 2 e 4 kHz após a intervenção, adequando o ambiente conforme os parâmetros ótimos recomendados pela norma alemã DIN 18041. Além disso, constatou-se que o uso do véu de fibra de vidro não alterou a eficiência absortiva da lã de rocha quando comparada com a opção sem revestimento. A contribuição da pesquisa reside em comprovar a viabilidade da fixação direta desses painéis nas paredes como solução prática para o condicionamento acústico de salas de aula.

Palavras-chave: Acústica de salas. Controle do tempo de reverberação com o uso da lã de rocha. Absorvedor poroso. Inteligibilidade da fala em ambientes de ensino.

Abstract

This study aims to evaluate the acoustic performance, focusing on the reverberation time, of a university classroom before and after installing rock wool panels on the walls, and to verify the influence of a fiberglass veil coating on sound absorption. The methodology consisted of in situ measurements according to the ISO 3382-1 standard and computer simulations using Sketchup and Raven software. The main results demonstrated that the average reverberation time of the empty room decreased from 1.57 seconds to values below 1.00 second at frequencies of 1, 2, and 4 kHz after the intervention, fitting the acoustic environment to the optimal parameters of the DIN 18041 standard. Furthermore, it was found that the use of the fiberglass veil did not alter the absorptive efficiency of the rock wool when compared to the uncoated option. The study's contribution lies in proving the feasibility of directly fixing these panels to the walls as a practical solution for the acoustic conditioning of classrooms.

Keywords: *Room acoustics. Reverberation time in rooms with rock wool absorbers. Porous sound absorber. Speech intelligibility in classroom environments.*

RIBEIRO, R. S.; PACHECO, C. S.; SILVA, D. A.; CATAI, R. E. Avaliação do condicionamento acústico de uma sala de aula com o uso de painéis de lã de rocha. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 21, 2026, Goiânia. **Anais**... Goiânia: ANTAC, 2026.

DOI: https://doi.org/10.46421/entac.v21i1.8782

INTRODUÇÃO

O desempenho acústico de salas de aula de ensino superior é um fator fundamental para a eficiência do processo de aprendizagem, o qual envolve uma intensa comunicação verbal entre alunos e professores. A presença de altos níveis de ruído e a baixa inteligibilidade da fala afetam negativamente o ambiente educacional, causando fadiga e consumindo habilidades cognitivas dos estudantes que poderiam ser mais bem empregadas na compreensão do conteúdo [1].

Quando os espaços de ensino possuem uma boa acústica, ocorre uma melhora significativa na compreensão auditiva durante as aulas, promovendo um maior envolvimento e uma melhor experiência geral de aprendizado. Além disso, no ensino superior, o uso frequente de linguagem acadêmica abstrata e a complexidade das mensagens exigem níveis de inteligibilidade de fala ainda maiores para garantir a correta recepção da informação pelos alunos [2, 3].

No Brasil, a avaliação e o controle acústico desses espaços esbarra na escassez de normas nacionais, tanto amplas quanto específicas, para salas de aula, o que muitas vezes exige a adoção de diretrizes internacionais em projetos de adequação. A principal norma brasileira vigente para avaliação acústica de espaços fechados é a ABNT NBR 10152 (atualizada em 2017 com errata em 2020), que estabelece os níveis máximos de pressão sonora, ponderados em A, para diferentes ambientes e define que o ruído residual em salas de aula não deve ultrapassar 35 dB. No que diz respeito ao tempo de reverberação, o país conta apenas com uma norma mais antiga, de 1992 (ABNT NBR 12179), que fornece recomendações baseadas no volume do ambiente para a frequência de 500 Hz, mas que foi formulada originalmente para salas de conferência [4].

Na ausência de diretrizes nacionais específicas, as normas internacionais DIN 18041 (alemã) e UNI 11532-2 (italiana) destacam-se como as melhores referências para a adequação acústica de salas de aula. Enquanto a norma alemã foca em metas de tempo de reverberação e no controle do ruído residual entre 30 e 35 dB, a norma italiana complementa o projeto com exigências ainda mais abrangentes e rigorosas de inteligibilidade da fala em múltiplas frequências. A aplicação conjunta dos parâmetros dessas duas diretrizes garante uma transmissão sonora ideal no ambiente de ensino, o que minimiza o desgaste vocal dos professores e assegura que os alunos recebam a informação com clareza [4, 5].

Para adequar os ambientes educacionais a essas exigências e corrigir os problemas de reverberação, materiais de condicionamento acústico, como a lã de rocha (ou lã mineral), são frequentemente empregados. A lã de rocha é um material amplamente aplicado na construção civil devido à sua capacidade de absorver a energia acústica e de adicionar amortecimento (*damping*) em paredes duplas, atenuando as ressonâncias que se formam no espaço de ar entre as duas placas [6], além de ter aplicação no desempenho térmico e de proteção contra incêndios. No tratamento de salas de aula, painéis de lã de rocha de alta densidade podem ser instalados nos tetos ou forros — frequentemente combinados com outros materiais — para absorver a

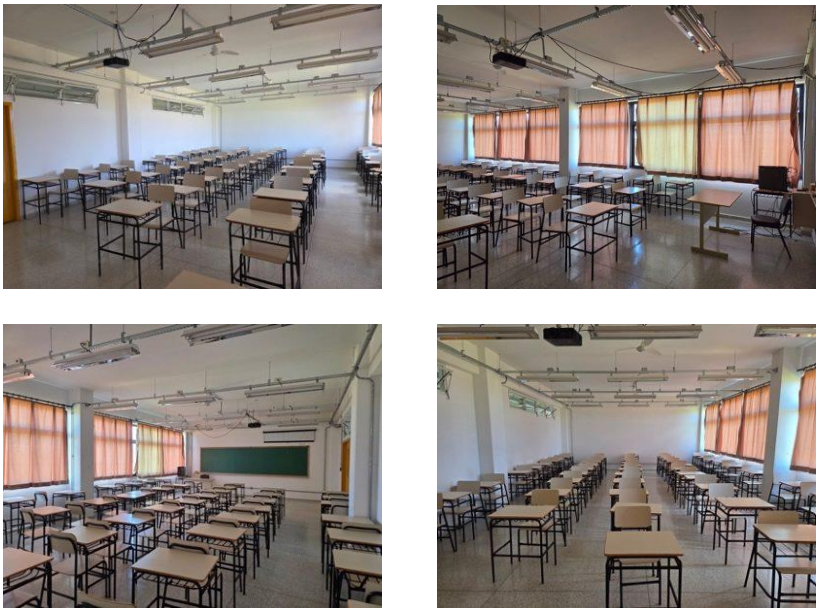
energia sonora, controlar a reverberação excessiva do som e, consequentemente, melhorar a clareza da comunicação verbal e o conforto dos usuários [7].

Este artigo tem como objetivo apresentar o desempenho acústico frente ao tempo de reverberação de uma sala de aula universitária, por meio de resultados medidos e simulados, antes e após uma intervenção com painéis de lã de rocha nas paredes, visando valores ótimos nas frequências importantes para a inteligibilidade de fala. Também é apresentada uma avaliação sobre a alteração no coeficiente de absorção sonora da lã de rocha quando revestida com um véu de fibra de vidro. A demanda sobre a influência do tipo de revestimento na absorção sonora do painel é apresentada pelos fabricantes do produto, sendo trazida a seguinte pergunta de pesquisa pela empresa fornecedora do produto: qual a influência do véu de fibra de vidro no painel natural em termos de absorção sonora *in situ*? Responder a essa pergunta pode levar a uma tomada de decisão sobre o desenvolvimento do produto de absorção sonora.

MATERIAIS E MÉTODOS

Uma sala de aula retangular, medindo 11,8 m x 6,40 m x 3,27 m, foi avaliada na Universidade Tecnológica Federal do Paraná, no Campus Guarapuava. A Figura 1 apresenta a sala de aula analisada.

Figura 1: Sala de aula sem condicionamento acústico: lateral esquerda; lateral direita; parede dianteira; parede traseira

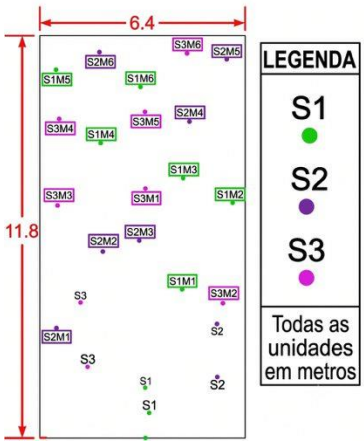


Fonte: os autores.

As medições foram conduzidas conforme a norma ABNT NBR ISO 3382-1 [8], sendo definidas 03 posições de fonte sonora e 06 posições de receptores para cada uma delas, totalizando 18 conjuntos fonte-receptor e cumprindo as recomendações do método de precisão. As medições foram realizadas com um microfone capacitivo pré-polarizado, modelo 4966, de ½", do fabricante Hottinger Brüel & Kjær (HBK), ligado a um condicionador de sinais, modelo 1704-A-001, do mesmo fabricante. A fonte sonora

utilizada foi o modelo omnidirecional DDC-100 do fabricante GROM. As medições foram realizadas no software MatLab, utilizando a ferramenta ITA ToolBox [9], com duração do *sweep* exponencial (varredura de senos) de 5,94 segundos e aplicação da técnica de deconvolução linear. A interface USB utilizada para a conexão dos equipamentos de medição e reprodução no computador foi o modelo USB96 do fabricante Presonus. Também foi utilizado um termo-higro-barômetro modelo THB-100 do fabricante Instrutherm. As posições de medições podem ser verificadas na Figura 2.

Figura 2: Posições de medições conforme a ISO 3382-1

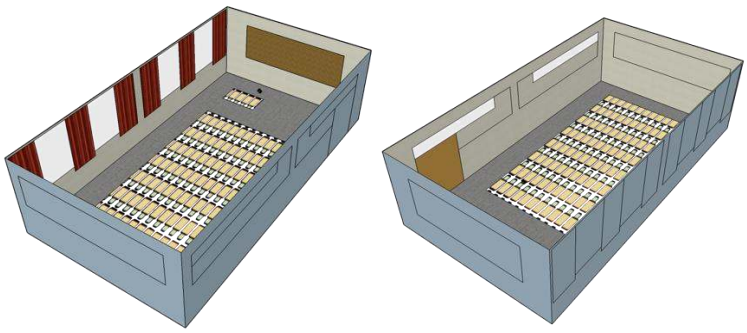


Fonte: os autores.

SIMULAÇÃO COM ACÚSTICA GEOMÉTRICA, ESTRATÉGIAS DE ABSORÇÃO E TEMPO ÓTIMO DE REVERBERAÇÃO

Um modelo 3D simplificado de sala de aula foi desenhado no *software* Trimble Sketchup. Em seguida foi utilizado o *software* RAVEN para simulação acústica do ambiente. RAVEN é um *software* gratuito para fins educacionais, desenvolvido pela Universidade de Aachen (RWTH), na Alemanha, que utiliza um algoritmo híbrido que combina imagens virtuais do som direto com as reflexões iniciais e um traçado de raios para a reverberação tardia [10]. A Figura 3 apresenta o modelo construído.

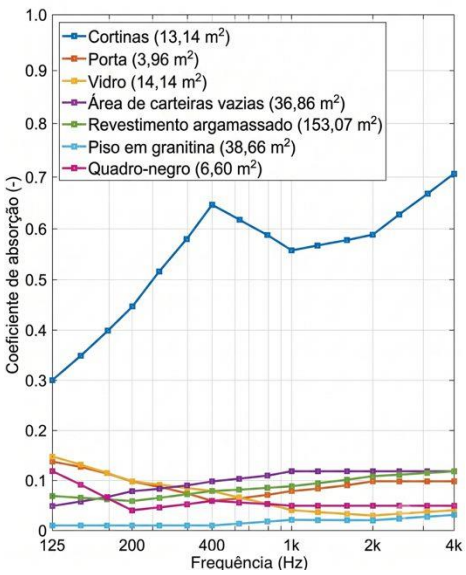
Figura 3: Modelo tridimensional da sala de aula: vista frontal; vista de fundos



Fonte: os autores.

Os coeficientes de absorção, apresentados pela Figura 4, foram retirados dos trabalhos de Vorländer (2020) [11] e Cox e D'Antonio (2017) [12].

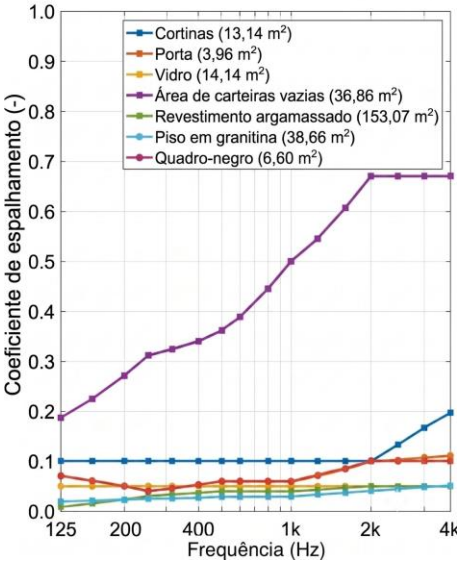
Figura 4: Coeficientes de absorção sonora utilizados



Fonte: os autores.

Os coeficientes de espalhamento foram retirados dos trabalhos de Zeng et al. (2006) [13] e Vorländer (2020) [11]. Os coeficientes de espalhamento constam na Figura 5.

Figura 5: Coeficientes de espalhamento utilizados



Fonte: os autores.

A validação do modelo de simulação com as medições em campo foi realizada por meio da Diferença Mínima Perceptível (JND), que, segundo a ABNT NBR ISO 3382-1 [8], é de 5% para o tempo de reverberação médio entre 500 e 1 kHz em bandas de oitava. Foi, então, definido o tempo de reverberação ótimo $T_{opt,occ}$ para a sala de aula ocupada segundo a norma DIN 18040 [13], conforme a Equação 1.

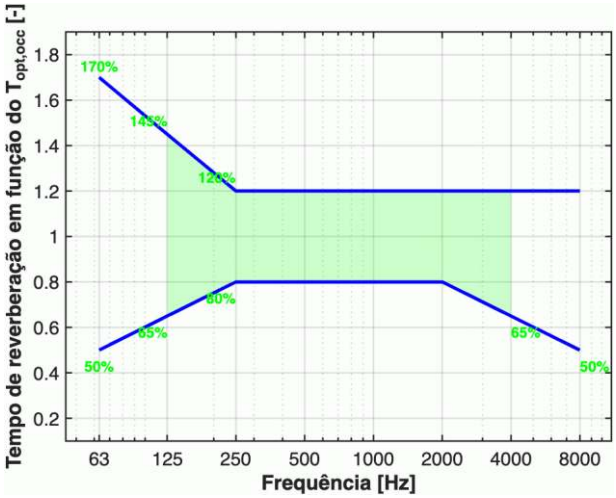
$$T_{opt,occ} = 0{,}32\mathrm{V} - 0{,}17 \quad (1)$$

Onde V é o volume da sala de aula, em m³. O tempo ótimo refere-se ao valor médio entre 125 e 4 kHz, em bandas de oitava. Em seguida, foi calculado o tempo ótimo da sala de aula desocupada ($T_{opt,unocc}$) conforme a Equação 2.

$$\mathrm{T_{opt,unocc}} = \frac{\mathrm{T_{opt,occ}}}{1 - \mathrm{T_{opt,occ}} \frac{\mathrm{A_{pers}}}{0{,}16\mathrm{V}}} \tag{2}$$

Onde A_{pers} é a área de absorção das pessoas presentes na sala de aula. Segundo a norma UNI 11532-2 [15], deve ser considerada a quantidade de 80% da ocupação total, ou seja, 36 pessoas para a sala de aula em análise, cuja lotação total é de 45 pessoas. A área de absorção das pessoas pode ser adotada do trabalho de Martelotta et al (2011) [16], considerando pessoas sentadas espaçadas, o que leva a um valor de 22,14 m² Sabine para A_{pers}. Segundo a norma alemã DIN 18041 [14], existe um intervalo de aceitação no espectro de frequência em bandas de oitava em função do tempo de reverberação ótimo, conforme a Figura 5.

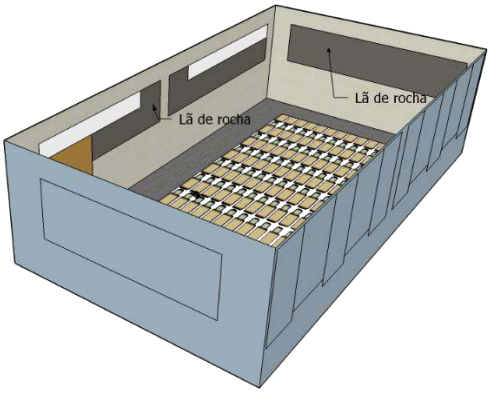
Figura 5: Distribuição espectral do tempo ótimo de reverberação conforme a norma DIN 18041



Fonte: os autores.

Após a definição do tempo ótimo de reverberação, foram inseridos painéis de lã de rocha nas paredes do modelo digital, conforme apresentado na Figura 6. O desafio deste projeto foi ter apenas duas paredes para realizar o condicionamento acústico, tendo em vista que a parede lateral direita é composta quase totalmente por janelas e a parede frontal possui um quadro-negro. A opção de utilização de forro acústico também foi descartada, tendo em vista a necessidade de manter eletrocalhas aparentes para facilitar a manutenção, além do custo ser um fator-alvo, o que impulsionou a escolha por sistemas colados diretamente nas paredes.

Figura 6: Modelo tridimensional com absorvedores sonoros nas paredes



Fonte: os autores.

Os coeficientes de absorção sonora adotados para a simulação inicial foram os de 0,28, 0,60, 0,98, 0,98, 0,96 e 0,96 para as frequências de banda de oitava entre 125 e 4 kHz, referentes à lã de rocha colada diretamente sobre superfícies rígidas, como concreto e alvenaria, obtidos de um catálogo de um fabricante estrangeiro de lã de rocha, com mesma densidade e espessura [17]. Após verificação do atendimento dos valores ótimos simulados, foram colados nas paredes da sala de aula painéis de lã de rocha tipo PSR (painel semirrígido), com densidade de 48 kg/m^3 e espessura de 51,0 mm, conforme consta na Figura 7. Duas situações foram estudadas: painéis de lã de rocha com as fibras expostas e painéis revestidos com véu de fibra de vidro. Os painéis de lã de rocha foram colados diretamente nas paredes utilizando cola para fixação de isopor (EPS), sendo o produto recomendado pelo fabricante.

Figura 7: Sala de aula com dois sistemas de absorção sonora distintos: lado exposto de lã de rocha; lado revestido



Fonte: os autores.

DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE ABSORÇÃO SONORA

Os coeficientes de absorção sonora *in situ* foram calculados conforme procedimento detalhado pela norma ISO 354 [18] para câmaras reverberantes. A aplicação destas equações em situações *in situ* não é ideal, porém serve para uma estimativa dos valores de absorção sonora. A determinação dos coeficientes de absorção sonora deve ser realizada conforme previsto pela norma ISO 354 em uma câmara reverberante adequada. A área de absorção sonora equivalente A_T é dada pela Equação 3.

$$A_T = 55{,}3V\left(\frac{1}{c_2 T_2} - \frac{1}{c_1 T_1}\right) - 4V(m_2 - m_1) \quad (3)$$

Onde c_1 e c_2 são as velocidades de propagação do som considerando as temperaturas t_1 e t_2 ; T_1 e T_2 são os tempos de reverberação medidos e m_1 e m_2 os coeficientes de atenuação de potência para as situações sem e com tratamento acústico, respectivamente. A variação da velocidade de propagação do som no ar (c) em função da temperatura (t) é dada como $c = (331 + 0{,}6t)$ [19].

Os coeficientes de atenuação de potência são calculados a partir do coeficiente de atenuação (α) conforme a Equação 4 seguindo a metodologia da norma ISO 9613-1 onde a temperatura, pressão atmosférica e umidade relativa são levadas em consideração.

$$m = \frac{\alpha}{10\log(e)} \tag{4}$$

Os coeficientes de absorção sonora - α_s - para as frequências de interesse são então calculados conforme a Equação 5.

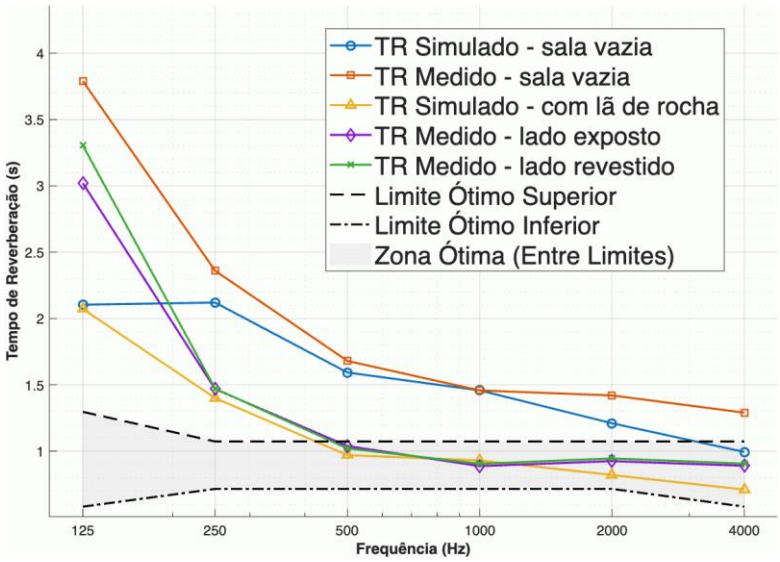
$$\alpha_s = \frac{A_T}{S} \tag{5}$$

Onde S é a área de material de absorção sonora inserida no ambiente, igual a 13,69 m^2.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos tempos de reverberação (TR) medidos e simulados são apresentados na Figura 8. O TR médio entre 500 e 1 kHz, medido na sala vazia, foi de 1,57 segundos, enquanto o valor simulado foi de 1,53 segundos, o que corresponde a uma diferença inferior a 5,00 % entre os valores medidos e simulados, o que demonstra que não há diferenças significativas e que o modelo de simulação é válido. Para os valores simulados e medidos da sala com condicionamento acústico também não foi verificada diferença perceptível. Verificou-se uma divergência em 125 Hz para ambos os modelos, justificada pelas incertezas de medição em baixas frequências [11].

Figura 8: Resultados dos tempos de reverberação medidos e simulados



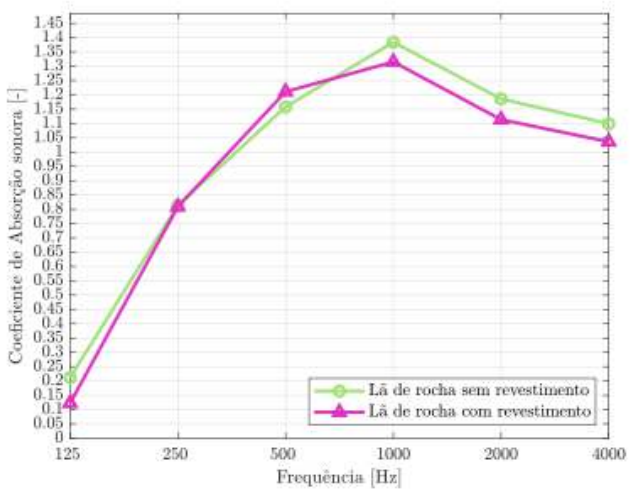
Fonte: os autores.

A temperatura, pressão atmosférica e umidade no dia das medições acústicas foram registradas como 24,5 °C, 899,41 hPa e 72,3 %, respectivamente.

Valores acima de 500 Hz ficaram dentro da faixa ótima para o tempo de reverberação, conforme a norma DIN 18041 [14]. A inteligibilidade da fala depende de um equilíbrio espectral onde cada banda desempenha um papel distinto: enquanto as oitavas de 125 Hz e 250 Hz contêm a frequência fundamental que confere corpo e timbre à voz, mas contribuem minimamente para a compreensão, podendo até prejudicá-la através do mascaramento ascendente das frequências mais altas se houver excesso de energia, a banda de 500 Hz marca a transição onde se concentra a maior parte da energia das vogais. A clareza real e a distinção das palavras residem primordialmente nas bandas de 1000 Hz, 2000 Hz e 4000 Hz, que são fundamentais para a transmissão dos sons consonantais de alta frequência (como fricativas e plosivas) e coincidem com a zona de maior sensibilidade do ouvido humano, sendo, por isso, as mais críticas para a articulação e o sucesso da comunicação verbal em qualquer ambiente [19, 20]. Logo, como as frequências de 1, 2 e 4 kHz permaneceram dentro dos parâmetros ótimos, considerou-se o condicionamento acústico eficiente.

Os coeficientes de absorção da lã de rocha com e sem revestimento são apresentados na Figura 9. Pode-se afirmar que ambos os lados, exposto e revestido, apresentam o mesmo desempenho de absorção sonora, tendo em vista os valores superiores a 1,00 acima de 500 Hz em bandas de oitava, que são fisicamente improváveis. A teoria de Sabine, utilizada nas equações da norma ISO 354, assume que a absorção está distribuída uniformemente por todas as superfícies da sala. Nesta pesquisa, a absorção sonora foi concentrada em duas superfícies, criando um campo sonoro que não é perfeitamente difuso [12].

Figura 9: Coeficientes de absorção sonora de lã de rocha exposta e com revestimento



Fonte: os autores.

CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou o condicionamento acústico de uma sala de aula universitária com a fixação direta de painéis de lã de rocha nas paredes. A escolha pelos métodos foi em função da praticidade de se implantar um sistema eficiente. A pesquisa foi conduzida por meio de simulações no software Raven e em medições conforme a norma ABNT NBR ISO 3382-1. Os tempos de reverberação simulados e medidos da sala desocupada com o condicionamento acústico foram inferiores à 1,00 segundo para as frequências de 1, 2 e 4 kHz, ficando dentro de um intervalo ótimo para salas de aula conforme a norma alemã DIN 18041. A escolha do revestimento dos painéis de lã de rocha com véu de fibra de vidro não alterou sua performance quando comparada com a opção sem revestimento. Os objetivos do trabalho foram alcançados: encontrou-se uma solução adequada para a sala de aula, por meio de simulações e medições; e verificou-se a baixa influência do revestimento no painel natural, o que indica que outros revestimentos semelhantes podem ser aplicados sobre a lã de rocha sem comprometer sua capacidade de absorção sonora. Dentre os desafios encontrados estão a ausência de normativa brasileira para a comparação de parâmetros acústicos objetivos em salas de aula e a falta de dados laboratoriais dos coeficientes de absorção sonora do produto. Destaca-se o potencial da criação de painéis acústicos absorventes pela empresa fabricante em função dos resultados encontrados, sendo um novo produto a integrar seu portfólio. Em trabalhos futuros recomenda-se mesclar absorvedores de baixa frequência, utilizando lã de rocha em suas cavidades, nas soluções propostas de condicionamento acústico com o objetivo de deixar todo o espectro dentro de limites ótimos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Araucária e à empresa Gesla Isolamentos pelo fornecimento do material. Também agradecem à pesquisadora Luciana da Rocha Alves pelo apoio na revisão parcial do trabalho.

DECLARAÇÃO

Durante a preparação deste artigo, os autores utilizaram a ferramenta Gemini para melhorar a qualidade das Figuras 2, 4 e 5 quanto aos tamanhos de fonte e às cores. As figuras foram criadas pelos autores, e a ferramenta de IA apenas aprimorou a apresentação das imagens. Após a utilização da ferramenta, os autores revisaram e editaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo do artigo publicado

REFERÊNCIAS

[1] MADBOULY, A. I.; NOAMAN, A. Y.; RAGAB, A. H. M.; KHEDRA, A. M.; FAYOUMI, A. G. Assessment model of classroom acoustics criteria for enhancing speech intelligibility and

learning quality. Applied Acoustics, v. 114, p. 147–158, dez. 2016. DOI: 10.1016/j.apacoust.2016.07.018.

[2] BHANDARI, N.; TADEPALLI, S.; GOPALAKRISHNAN, P. Investigation of acoustic comfort, productivity, and engagement in naturally ventilated university classrooms: Role of background noise and students' noise sensitivity. Building and Environment, v. 249, p. 111131, fev. 2024. DOI: 10.1016/j.buildenv.2023.111131.

[3] VAN DEN HEUIJ, K.; GOVERTS, T.; NEIJENHUIS, K.; COENE, M. Challenging listening environments in higher education: an analysis of academic classroom acoustics. Journal of Applied Research in Higher Education, v. 13, n. 4, p. 1213–1226, nov. 2020. DOI: 10.1108/JARHE-05-2020-0112.

[4] SCOCZYNSKI RIBEIRO, R. et al. Assessing acoustical quality in university classrooms in Brazil: Measurements and simulations. Building Acoustics, v. 31, n. 2, p. 199–222, jun. 2024. DOI: 10.1177/1351010X231218410.

[5] D'ORAZIO, D.; FRATONI, G.; TARDINI, V. The Italian standard on classroom acoustics UNI 11532-2:2020 explained through case studies. Applied Acoustics, v. 231, p. 110498, mar. 2025. DOI: 10.1016/j.apacoust.2024.110498.

[6] EVEREST, F. Alton; POHLMANN, Ken C. Master handbook of acoustics. 7. ed. New York: McGraw Hill, 2022.

[7] DE LA HERA, G.; MUÑOZ-DÍAZ, I.; CIFRIAN, E.; VITORICA, R.; GUTIERREZ SAN MARTIN, O.; VIGURI, J. R. Comparative Environmental Life Cycle Analysis of Stone Wool Production Using Traditional and Alternative Materials. Waste and Biomass Valorization, v. 8, n. 5, p. 1505–1520, jul. 2017. DOI: 10.1007/s12649-016-9660-8.

[8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 3382-1:2017: Acústica — Medição de parâmetros de acústica de salas - Parte 1: Salas de Espetáculo. Rio de Janeiro: ABNT, ago. 2017. Disponível em: https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=376662.

[9] BERZBORN, M.; BOMHARDT, R.; KLEIN, J.; RICHTER, J.-G.; VORLÄNDER, M. The ITA-Toolbox: An open source MATLAB toolbox for acoustic measurements and signal processing. In: ANNUAL GERMAN CONGRESS ON ACOUSTICS, 43., 2017, Kiel. Proceedings [...]. Kiel, Germany, 2017.

[10] ASPÖCK, L. Validation of room acoustic simulation models. 2020. Tese/Dissertação – RWTH Aachen University, Berlin, 2020. DOI: 10.18154/RWTH-2020-12146.

[11] VORLÄNDER, M. Auralization: Fundamentals of Acoustics, Modelling, Simulation, Algorithms and Acoustic Virtual Reality. 2. ed. Springer International Publishing: RWTHedition, 2020.

[12] COX, T. J.; D'ANTONIO, P. Acoustic Absorbers and Diffusers: Theory, Design and Application. 3. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.

[13] ZENG, X.; CHRISTENSEN, C. L.; RINDEL, J. H. Practical methods to define scattering coefficients in a room acoustics computer model. Applied Acoustics, v. 67, n. 8, p. 771–786, ago. 2006. DOI: 10.1016/j.apacoust.2005.12.001.

[14] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 18041: Hörsamkeit in Räumen - Anforderungen, Empfehlungen und Hinweise für die Planung (Acoustic quality in rooms - Specifications and instructions for the room acoustic design). Berlin: DIN Media GmbH, mar. 2016. DOI: 10.31030/2395845.

[15] ENTE ITALIANO DI NORMAZIONE. UNI 11532-2:2020: Caratteristiche acustiche interne di ambienti confinati - Metodi di progettazione e tecniche di valutazione - Parte 2: Settore scolastico. Milano: UNI, mar. 2020. Disponível em: https://store.uni.com/en/uni-11532-2-2020.

[16] MARTELLOTTA, F.; D'ALBA, M.; CROCIATA, S. D. Laboratory measurement of sound absorption of occupied pews and standing audiences. Applied Acoustics, v. 72, n. 6, p. 341–349, maio 2011. DOI: 10.1016/j.apacoust.2010.12.008.

[17] ROCKWOOL. FABROCK 30 Board Insulation for OEM Applications - Technical Data Sheet. ROCKWOOL Core Solutions, ago. 2021. Disponível em: https://www.rockwool.com/siteassets/o2-rockwool/documentation/technical-data-sheets/core-solutions/fabrock-30-board-insulation-for-oem-applications-techdata/?f=20210830133332. Acesso em: 1 maio 2026.

[18] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 354:2003 Acoustics — Measurement of sound absorption in a reverberation room. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization, 2003. Disponível em: https://www.iso.org/standard/34545.html.

[19] FUCHS, H. V. Applied Acoustics: Concepts, Absorbers, and Silencers for Acoustical Comfort and Noise Control: Alternative Solutions—Innovative Tools—Practical Examples. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2013. DOI: 10.1007/978-3-642-29367-2.

[20] KUTTRUFF, H.; VORLÄNDER, M. Room Acoustics. 7. ed. Boca Raton: CRC Press, 2025. DOI: 10.1201/9781003389873.