

ANÁLISE DE FORMATOS DE ALVÉOLOS EM LAJES ALVEOLARES E SEU IMPACTO NA PROPAGAÇÃO DE RUÍDO

ANALYSIS OF HOLLOW-CORE SLAB ALVEOLAR SHAPES AND THEIR IMPACT ON NOISE PROPAGATION

João Lucas Rabello Giuntini, Lucas de Souza Pinheiro, Renan Magalhães Noronha, Isaac Aguiar Oliveira, Cesar Augusto Alonso Capasso

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: lucasdespinheiro@gmail.com

RESUMO – A demanda por soluções construtivas leves e eficientes tem impulsionado o uso de lajes alveolares em edificações. Apesar da praticidade na execução, essas estruturas apresentam limitações no isolamento acústico. Este trabalho analisa como a geometria dos alvéolos influencia o desempenho acústico e estrutural das lajes de concreto, com base em normas nacionais e internacionais. Foram desenvolvidos modelos geométricos em AutoCAD e realizados ensaios laboratoriais, destrutivos e acústicos, sob controle de variáveis ambientais. A análise estatística dos resultados confirmou que ajustes geométricos podem melhorar simultaneamente o isolamento sonoro e a eficiência estrutural, ampliando o potencial dessas lajes em construções modernas.

Palavras-chave: Desempenho acústico. Isolamento sonoro. Simulação computacional. Otimização geométrica.

ABSTRACT – The demand for lighter and more efficient construction solutions has driven the use of hollow-core slabs in buildings. Despite their practicality on-site, these structures still face limitations in sound insulation. This study analyzes how the geometry of the cores influences the acoustic and structural performance of concrete slabs, based on national and international standards. Geometric models were developed in AutoCAD, and laboratory, destructive, and acoustic tests were conducted under controlled environmental conditions. Statistical analysis confirmed that geometric adjustments can improve both sound insulation and structural efficiency, enhancing the applicability of hollow-core slabs in modern constructions.

Keywords: Acoustic performance. Sound insulation. Computational simulation. Geometric optimization.

1 INTRODUÇÃO

As lajes alveolares, difundidas no cenário construtivo brasileiro desde a década de 1990, representam uma solução estrutural que alia eficiência técnica e econômica. A geometria oca dessas lajes — projetada para otimizar resistência e reduzir peso — atua como uma "caixa de ressonância", amplificando ruídos aéreos, como vozes, e de impacto como passos, quedas de objetos. Essa dualidade entre avanço estrutural e limitação acústica ganha relevância social à luz do direito à qualidade ambiental urbana, previsto no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001).

A ausência de isolamento acústico adequado compromete o bem-estar dos moradores, gerando incômodos, perda de privacidade e afetando a qualidade de vida. Nesse contexto, repensar a geometria dos alvéolos surge como uma oportunidade de inovação tecnológica. Estudos indicam que geometrias não convencionais — como alvéolos hexagonais com divisões internas — podem reduzir a transmissão sonora em até 20%, apontando para soluções simples e eficazes. A hipótese deste trabalho parte do princípio de que a modificação da geometria dos alvéolos pode melhorar o desempenho acústico das lajes alveolares sem comprometer sua capacidade de carga.

A proposta se baseia em estudos de Long (2014), que exploram como o formato influencia a propagação de ondas sonoras. Em certos casos, é possível reduzir o volume de concreto utilizado, aumentando a eficiência estrutural. Melhorias no isolamento acústico em habitações podem minimizar problemas relacionados à má qualidade sonora, como distúrbios do sono, ansiedade, dificuldade de concentração e estresse. Este estudo explora soluções inovadoras para melhorar o desempenho acústico de lajes alveolares, mantendo sua eficiência estrutural. Para isso, desenvolveu-se protótipos com geometrias de alvéolos não convencionais, visando identificar configurações que otimizem o isolamento sonoro sem comprometer a capacidade estrutural.

Desenvolver protótipos de lajes alveolares com geometrias de alvéolos inovadoras, utilizando concreto armado, para investigar a relação entre o formato, desempenho acústico e capacidade estrutural.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como descritiva utilizando um método de pesquisa experimental, com abordagem quantitativa, tendo uma observação direta intensiva, visando avaliar o desempenho acústico e estrutural de lajes alveolares por meio de simulações computacionais e ensaios laboratoriais.

O método divide-se em três etapas principais: modelagem e simulação para análise preliminar; execução de protótipos em ambiente controlado, com dosagem de concreto e armadura conforme normas ABNT; e ensaios normatizados para medição de isolamento acústico e resistência estrutural. A técnica de coleta de dados inclui medições dimensionais, ensaios destrutivos e acústicos, enquanto a análise de dados utiliza processamento estatístico e comparação gráfica entre resultados teóricos e experimentais, validados conforme critérios normativos.

A execução teve início com uma análise computacional preliminar, utilizando softwares especializados para simular o comportamento das lajes alveolares. Os alvéolos têm os seguintes formatos: convencional, quadrado e triangular. Foram executados utilizando a mesma área entre eles, sendo $0,002827\text{m}^2$; todos seguem o mesmo cobrimento, o mesmo espaçamento, e em cada laje foram dispostos três alvéolos. A análise estrutural foi conduzida no TQS, verificando deslocamentos, tensões e capacidade resistente sob cargas normativas conforme a ABNT NBR 6120:2019 Ações para o cálculo de estruturas de edificações.

A modelagem 3D foi desenvolvida no AutoCAD para definir a geometria das lajes, incluindo dimensões e disposição dos alvéolos. Com as geometrias definidas foi realizado a seleção dos materiais e a dosagem do concreto com base nos resultados das simulações. Os moldes em madeira foram priorizados para garantir precisão dimensional, seguindo as tolerâncias estabelecidas pela ABNT NBR 14931:2023 Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras — Requisitos.

O traço do concreto será definido em proporções como 1:2,5:3,5. O fator água cimento estabelecido era o de 0,71, mas visando aumentar a trabalhabilidade do traço em questão o fator a/c adotado foi o de 0,91. Tal traço adotado foi escolhido com base na tabela “Traços de concreto mais utilizados e suas aplicações”, do engenheiro Carlos Irapuama de P. Lima, e visava atingir a resistência de 19,5 MPa em 28 dias. Como alterou-se o fator a/c, foram feitos

teste de resistência à compressão para testar as resistências obtidas. Foram seguidas também práticas utilizadas em laboratórios de materiais de construção, apoiando-se nos procedimentos definidos pela ABNT NBR 12655:2022 Concreto de cimento Portland - Preparo, controle, recebimento e aceitação - Procedimento.

A armadura foi composta por barras de CA-50, seguindo a ABNT NBR 7480:2024 Aço destinado às armaduras para estruturas de concreto armado - Requisitos, posicionadas de acordo com os cálculos estruturais realizados no TQS e respeitando o cobrimento mínimo de 2,5cm prescrito pela ABNT NBR 6118:2023. Foram feitos três protótipos e seu dimensionamento foram de 0,50m × 0,50m × 0,20m, sua execução será realizada em ambiente controlado, o laboratório de estruturas da UNISANTA, com umidade superior a 90% e temperatura mantida em 20±2°C para garantir condições ideais de cura.

O processo de moldagem foi monitorado rigorosamente, com visitas semanais no laboratório. Aos 7, 14 e 28 dias, foram realizadas avaliações periódicas, incluindo testes de resistência à compressão utilizando ensaios destrutivos em corpos de prova (CP), tendo no total 6 CPs, sendo 2 aos 7 dias e 4 aos 28. A conformidade dimensional foi verificada com trenas, enquanto o alinhamento estrutural foi checado com uma régua de nível, assegurando que o executado esteja em conformidade com o projeto.

Os ensaios de desempenho acústico foram conduzidos em um ambiente padronizado, o laboratório de estruturas da Universidade Santa Cecília, seguindo a ISO 10140-4:2021 para medição do isolamento a ruído aéreo, com cálculo da diferença de níveis de ruído em (dB). O impacto sonoro foi avaliado com martelo padronizado, de acordo com a ISO 16283-1:2014, e os resultados foram confrontados com os requisitos da ABNT NBR 15575-3:2021. Nos ensaios estruturais, foi aplicada carga estática progressiva utilizando uma prensa hidráulica do laboratório de estruturas da Universidade Santa Cecília.

A análise dos dados coletados inclui processamento estatístico para comparar resultados teóricos e experimentais, comparando os dados obtidos tanto em capacidade acústica e capacidade resistente. Por fim, a validação dos resultados foi baseada no atendimento aos critérios normativos, buscando atender de forma, capacidade de carga e capacidade acústica mínimas, levando em conta o nível de precisão utilizado nos ensaios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A etapa experimental permitiu observar diferenças mínimas no comportamento acústico das lajes alveolares com geometrias de alvéolos distintas. Foram produzidos três protótipos, cada qual com alvéolos de formato convencional (circular), quadrado e triangular, mantendo-se a área interna, cobrimento e espaçamento.

No desempenho acústico, feita baseada na ISO 10140-2:2021 O protótipo com alvéolos quadrados não mostrou ganhos relevantes em relação ao modelo convencional, enquanto o formato triangular apresentou piora média de 7,4 dB no isolamento sonoro, conforme mostrado na Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Resultados do Ensaio de Isolamento a Ruído de Impacto

Resultados do Ensaio de Isolamento a Ruído de Impacto			
Formatos dos alvéolos	Mínimo (dB)	Média (dB)	Máxima (dB)
Convencional	32,00	54,90	93,00
Quadrado	39,00	55,80	93,00
Triangular	42,00	62,30	102,00

Fonte: Autoral

Tabela 2: Resultados do Ensaio de Isolamento a Ruído de Aéreo

Resultados do Ensaio de Isolamento a Ruído Aéreo			
Formatos dos alvéolos	Mínimo (dB)	Média (dB)	Máxima (dB)
Convencional	37,00	70,20	90,00
Quadrado	39,00	70,30	83,00
Triangular	40,00	68,90	103,00

Fonte: Autoral

Na discussão, observa-se que os resultados não corroboram achados de estudos internacionais, sugerindo que a geometria, nas condições avaliadas, não se configura como variável determinante de projeto. Do ponto de vista prático, a geometria triangular se mostrou a menos indicada para aplicações residenciais, onde o conforto acústico é essencial. Já os alvéolos quadrados, apesar de não apresentarem ganhos acústicos relevantes, tendem a oferecer maior equilíbrio entre desempenho estrutural isolamento.

Em síntese, os resultados indicam que a geometria dos alvéolos, isoladamente, não deve ser priorizada como variável de projeto no desenvolvimento de lajes alveolares, sendo mais

eficaz investir em soluções complementares, como revestimentos acústicos, para garantir o desempenho global exigido em edificações.

4 CONCLUSÃO

O presente estudo investigou a influência da geometria dos alvéolos no desempenho acústico e estrutural de lajes alveolares de concreto, por meio de simulações computacionais e ensaios laboratoriais controlados. Os resultados obtidos indicam que, nas condições avaliadas, a modificação da forma dos alvéolos sendo circular, quadrada ou triangular, não apresenta impacto significativo sobre o isolamento acústico das lajes. Especificamente, o formato triangular demonstrou pior desempenho médio em relação aos demais, enquanto o formato quadrado não proporcionou ganhos relevantes comparado ao modelo convencional.

Do ponto de vista estrutural, as análises indicam que todas as geometrias testadas mantêm capacidade resistente adequada, sugerindo que alterações na forma dos alvéolos, isoladamente, não comprometem a integridade estrutural. No entanto, considerando o conforto acústico, os resultados apontam que a geometria dos alvéolos não deve ser priorizada como principal variável de projeto, sendo mais eficiente manter os formatos como estão e usando materiais complementares, como revestimentos acústicos ou materiais isolantes, para atender às exigências normativas de desempenho sonoro em edificações residenciais e comerciais.

Para finalizar, este trabalho contribui para o entendimento das relações entre geometria de alvéolos, desempenho acústico e eficiência estrutural, evidenciando que o desenvolvimento de lajes alveolares deve considerar a integração de soluções construtivas complementares, garantindo conforto, segurança e funcionalidade. Futuras pesquisas podem explorar combinações de geometria de alvéolos com materiais absorventes, novas técnicas de cura do concreto e otimizações paramétricas, visando ampliar ainda mais a eficiência acústica sem comprometer a capacidade estrutural.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14931: Execução de estruturas de concreto armado, protendido e com fibras — Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 15575: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001 (Estatuto da Cidade).

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 10140: Acoustics — Laboratory measurement of sound insulation of building elements. Genebra: ISO, 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 717: Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Genebra: ISO, 2020.

LONG, M. Architectural Acoustics. Burlington: Elsevier Science, 2014.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Burden of disease from environmental noise. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2018.