

ACÚSTICA DAS LAJES: ESTUDO DE CASO ENTRE LAJE MACIÇA E LAJES PRÉ-FABRICADAS

SLABS ACOUSTICS: CASE STUDY BETWEEN SOLID SLABS AND PREFABRICATED SLABS

Kauany Cristina Riva¹

Givanildo Martins de Quadros²

Resumo

O presente trabalho teve como objetivo avaliar através de ensaios o desempenho acústico de ruído de impacto em diferentes tipologias de lajes, sendo elas: laje maciça, laje pré-fabricada com tavela cerâmica e tavela em EPS. É realizada uma breve revisão bibliográfica e após são descritos os procedimentos dos ensaios realizados, que foram executadas em protótipos construídos em laboratório, sem contrapiso ou revestimento. Foram realizadas dez medições para cada tipo de laje, a fim de determinar o desempenho acústico de cada sistema construtivo. Os resultados mostraram que a laje com pior desempenho foi à pré-fabricada com tavela cerâmica, com 0,50% de absorção do som, seguido pela laje maciça, com 1,42% de absorção do som e a tipologia que apresentou melhor resultado foi à laje pré-fabricada com tavela em EPS, com absorção de 3,10% do som emitido. Através destes resultados, elaboraram-se gráficos para melhor análise da porcentagem do som em que cada sistema de laje absorveu.

Palavras-chave: Desempenho, protótipos, tipologias, ruído, ensaios.

Abstract

The present work aimed to evaluate through tests the acoustic performance of impact noise in different types of slabs, being: massive slab, prefabricated slab with ceramic tavela and tavela in EPS. A brief literature review is performed and after the procedures of the tests performed are described, which were performed in prototypes built in laboratory, without tread or coating. Ten measurements were performed for each type of slab, in order to determine the acoustic performance of each construction system. The results showed that the slab with the worst performance was the prefabricated with ceramic tavela, with 0.50% sound absorption, followed by the massive slab, with 1.42% sound absorption and the typology that presented the best result was the prefabricated slab with tavela in EPS, with absorption of 3.10% of the sound emitted. Through these results, graphs were elaborated to better analyze the percentage of sound in which each slab system absorbed.

Key words: Noise; Performance; Prototypes; Tests; Typologies.

Introdução

Com o constante crescimento populacional, a busca por espaço para construções se torna cada vez maior com ampla otimização do espaço urbano, sendo assim, as áreas requeridas estão reduzidas, e as edificações estão cada vez mais

¹ Engenheira Civil Centro Universitário FAI – Uceff Itapiranga, Campus de Itapiranga – SC;

² Engenheiro Civil pela Universidade Comunitária da Região de Chapecó - UNOCHAPECÓ, Professor e Coordenador de Curso Superior. Graduado pela, como duas especializações: Estudos Sociais e da Religião pela Universidade do Oeste de Santa Catarina -UNOESC e Espaços Celebrativo/Litúrgico e arte Sacra pela Faculdade Jesuíta de Filosofia e Teologia - FAJE. Mestrado Profissional em Políticas Sociais e Dinâmicas Regionais pela Universidade Comunitária da Região de Chapecó – UNOCHAPECO.

próximas umas das outras, gerando reclamações constantes por parte dos usuários com relação ao conforto acústico do seu espaço privado (OGAWA; FILHO; RASSI, 2014).

Diante de todos os problemas que surgem constantemente nas construções à utilização das Normas Brasileiras Regulamentadoras (NBR's) é uma forma de organizar e admitir monitoramento e controle no processo de construção das obras, permitindo maior aumento de produtividade, segurança, redução de custo, além de maior conforto aos usuários devido ao seguimento das normas (CASTILHO, 2017).

Conforme ABNT NBR 15575-1:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho, Parte 1: Requisitos gerais, define critérios qualitativos, quantitativos e formas de avaliar o atendimento dos usuários quanto aos seus sistemas construtivos e o desempenho das construções. A norma apresenta requisitos de segurança (estrutural, contra o fogo e segurança no uso e na operação), habitabilidade (estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene, qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico) e sustentabilidade (durabilidade, impacto ambiental e manutenibilidade), sendo composta por seis partes, cada parte apresenta requisitos e critérios de atendimento de cada sistema da edificação.

Na construção civil, a redução de prazos e custos nas obras para obtenção de melhores preços e lucro, torna secundária preocupação com o conforto acústico. Mas com o constante avanço das tecnologias, as pessoas estão buscando cada vez mais construções com o máximo de conforto possível, claro, dentro do orçamento de cada cliente (OGAWA; FILHO; RASSI, 2014).

Conforme Lamberts (2004), em diversas construções espalhadas pelo mundo todo foram utilizadas técnicas e recursos naturais com diferentes tipos de materiais, tudo para melhorar as condições de conforto térmico e acústico em suas habitações. Após a revolução industrial, novos materiais disponíveis para construção e sistema de isolamentos surgiram inclusive o concreto armado.

Alguns sistemas de lajes, com utilização combinada de algum material de enchimento, são amplamente utilizados no Brasil, diminuindo assim a quantidade de concreto na região tracionada. O material de enchimento deve ser o mais leve possível, mas com resistência para suportar as operações de execução, sendo que os

mais comumente utilizados são blocos cerâmicos vazados, blocos de concreto e blocos de poliestireno expandido (TRIGO *et al.*, 2008).

Para entender como funciona o isolamento acústico em uma edificação, em especial em lajes, é necessário entender alguns conceitos, como isolamento acústico e materiais utilizados para tratamento acústico na construção civil (convencionais e não convencionais). Acústica é a ciência que estuda o som, desde sua geração, transmissão e efeitos. O som, por sua vez, é um movimento ondulatório mecânico, onde as vibrações sonoras se propagam em torno de seu corpo sonoro, causando compressões e distensões sucessivas, com velocidades uniforme ao seu entorno, se a propriedade elástica do meio for igual em todos os pontos (FARIA, 2013).

As ondas sonoras somente se propagam através de um meio material a partir de variações de pressão, surgindo partir de oscilações de moléculas do meio de propagação em torno de suas posições de equilíbrio. Um exemplo desse fato é a água de uma lagoa (meio elástico), que no momento em que é agitada, gera ondas, espaços de pressão e depressão, passando por uma região de referência (CARVALHO, 2010).

Os materiais da construção civil são elementos de vários tipos e formas que, desempenham papéis específicos que possibilitam e garantem a existência de um determinado ambiente construído, pensado para um determinado fim (RIBEIRO; PINTO; STARLING, 2006). Os materiais utilizados para tratamento acústicos são classificados em convencionais e não convencionais. Os convencionais são materiais de vedação de uso comum na construção civil, como por exemplo: blocos de concreto e blocos cerâmicos. E os não convencionais são materiais com isolamento acústico e térmico em diversos ambientes, como por exemplo, lã de vidro, lã de rocha e poliestireno expandido, descritos na sequência (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006).

O estudo é enquadrado na área de pesquisa experimental, onde será apresentada uma revisão teórica dos assuntos relacionados ao trabalho, execução dos ensaios, relatando os procedimentos, métodos avaliativos e metodologia adotada de conforme as normas de desempenho, tratando-se do isolamento acústico em lajes de diferentes tipologias, dentre elas; lajes maciças, pré-fabricadas com tabelas cerâmicas e pré-fabricadas com tabelas em *EPS*.

Com os quantitativos extraídos de cada sistema de laje expresso em decibéis será possível elaborar gráficos para analisar o método que apresenta melhor isolamento acústico.

Métodos

A metodologia utilizada para a realização deste trabalho foi experimental e comparativa, com o objetivo de analisar o isolamento acústico nas lajes maciças e lajes pré-fabricadas com a utilização de tabelas cerâmicas e tabelas de poliestireno expandido (EPS) como material e enchimento. O método utilizado foi medição acústica de decibéis através de um medidor de nível de pressão sonora. A pesquisa foi realizada no Laboratório de Materiais e Solos (LMS) da UCEFF-Itapiranga/SC.

A seguir será descrito quais foram os métodos de execução da pesquisa, sendo que foi realizada a moldagem de 20 dos corpos de prova, para conhecimento da resistência mecânica do concreto utilizado. Os materiais foram separados de acordo com o traço definido pelo método ABCP, 1: 1,6: 2,68 e a/c 0,482, objetivando 25 MPa de resistência aos 28 dias.

Conforme NBR 12655:2015 - Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento, o tempo mínimo de mistura do concreto em uma betoneira estacionária é de 60 segundos. Com base nisso, foi adicionado inicialmente à quantidade total de agregado graúdo (brita) e 80% da água, misturado por um minuto, em seguida adicionado todo o aglomerante (cimento), sendo misturado por mais 1 minuto e para finalizar, adicionado o restante da água e todo o agregado miúdo (areia) que permaneceram sob mistura por mais 3 minutos, totalizando 5 minutos.

Após, foi realizado o ensaio de abatimento da mistura e moldagem dos corpos-de-prova em moldes cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, submetidos a uma fina camada de desmoldante, que não reaja com o concreto.

Ensaio de abatimento do tronco de cone

A ABNT NBR NM 16889:2020 – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, recomenda para tal a utilização de uma fôrma tronco-cônica sobre uma chapa metálica bem nivelada. Este cone possui 300 mm de altura sendo que sua base tem 200 mm de diâmetro e na parte superior possui 100 mm o molde deve ser

posicionado em uma superfície plana, utiliza-se uma haste de aço e uma régua para obtenção dos resultados.

Foi preenchido o cone com três camadas de concreto, compactado com 25 golpes cada camada com a haste metálica, sendo retirado o molde no sentido vertical e realizado medição em 5 a 10 segundos após a retirada.

Posteriormente foi determinada a diferença entre a altura do molde e a altura média da amostra assentada, e expressada em centímetros. Após o ensaio de abatimento, foram moldados 20 corpos de prova para os demais ensaios, além disso, foram moldados 5 copos plásticos para ensaio de absorção de umidade onde permaneceram no laboratório de engenharia civil da UCEFF em temperatura ambiente até o dia dos ensaios.

Moldagem dos corpos de prova de concreto

Para realizar a moldagem dos corpos de prova e o concreto para execução da laje foram obedecidos os procedimentos conforme a ABNT NBR 5738: 2016 – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova. Foram confeccionados 20 corpos de prova para provar a resistência dos mesmos aos 7 e aos 28 dias.

Além da moldagem dos corpos de prova para os ensaios de compressão axial e diametral, outros 5 corpos de prova foram moldados em copos plásticos, a fim de realizar os testes de absorção dos traços em estudo.

O concreto foi moldado em duas camadas, com adensamento manual, executando 12 golpes em cada camada, inclusive para os copos plásticos. Após a moldagem de todos os corpos de prova os mesmos foram reservados e, desmoldados em 24 horas após a moldagem. Após desformados, cada corpo de prova foi identificado e submetido ao processo de cura seca, no intervalo de 7 dias e 28 dias, onde permaneceram no laboratório de materiais e solos da UCEFF de Itapiranga-SC em temperatura ambiente.

Ensaio de resistência à compressão axial

As rupturas foram realizadas na prensa hidráulica EMIC modelo PC100C do laboratório de materiais e solos da UCEFF de Itapiranga-SC, com capacidade de 100

toneladas e velocidade de ensaio de 6mm/min. Os ensaios foram realizados de acordo com a ABNT NBR 5739:2018.

Além dos CP's, as faces dos pratos estavam limpas e secas antes de se iniciar o ensaio, onde ficaram posicionados no centro do prato inferior. O carregamento foi realizado de forma contínua, interrompendo apenas quando houve ruptura do corpo de prova.

Ensaio de resistência à compressão diametral

O ensaio de resistência à compressão diametral foi realizado com os equipamentos do ensaio de compressão axial, sendo acoplado à prensa um par de placas metálicas retangulares para distribuir a carga sobre o corpo de prova.

Segundo a ABNT NBR 7222:2011 – Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, o corpo de prova e o par de placas do ensaio devem se unir na extensão das duas geratrizes opostas diametralmente do corpo de prova, portanto foi colocado duas taliscas retangulares de madeira para fazer essa ligação.

Ao iniciar o teste foi aplicada uma força de compressão a fim de ajustar as placas metálicas, até que seja possível manter estável a posição do corpo de prova. Assim por diante, a carga de compressão diametral foi aplicada de forma contínua, até haver a ruptura do corpo de prova. Foram utilizados 10 corpos de prova para esse ensaio, sendo 5 para 7 dias e 5 para 28 dias com dimensões de 100mm x 200mm, onde foi realizado no laboratório de materiais e solos da UCEFF / Itapiranga - SC.

Ensaio de absorção a umidade

A análise da absorção de umidade foi realizada conforme ABNT NBR 9778:2009 - Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão índice de vazios e massa específica, utilizando amostras de concreto moldado de acordo com a ABNT NBR 5738:2016.

Para este ensaio foram moldados 5 corpos de prova, em copos plásticos, submetidos ao processo de cura seca de 28 dias. Após a completa cura, foram analisadas as massas secas dos corpos de prova. Em seguida, os mesmos foram

imersos totalmente em um tanque com água a temperatura ambiente por um período de 7 dias, no laboratório de materiais e solos da UCEFF / Itapiranga-SC.

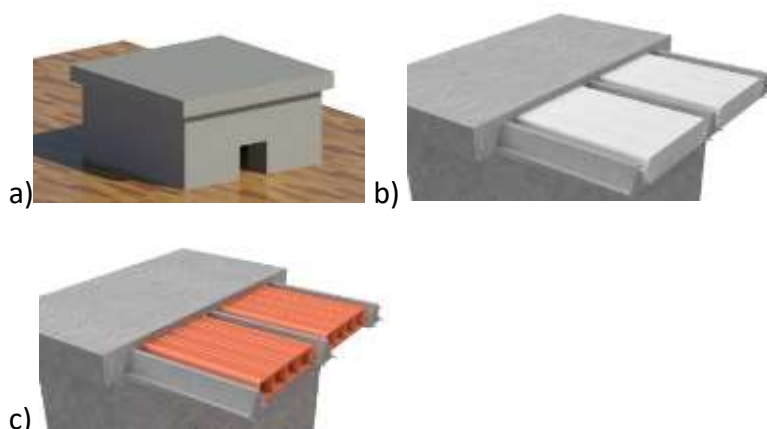
Após os 7 dias, foi iniciado a pesagem dos corpos de prova no primeiro, terceiro, quinta e sétimo dia, Figura 40. Depois de cada pesagem, os CP's foram imersos novamente na água, sendo retirado apenas para pesagem.

A diferença entre a massa seca e massa úmida se dá pelo percentual de umidade dos corpos de prova, sendo que será utilizada a Fórmula de absorção de água para determinar a porcentagem de umidade, onde o teor de absorção em porcentagem (A) será igual ao peso saturado (MH) menos o peso do corpo-de-prova (MS) dividido pelo peso do corpo-de-prova seco (MS).

Construção dos protótipos

Após a moldagem dos corpos de prova foi realizada a construção dos protótipos sendo que, os mesmos seguiram modelo representado na Figura 01, para que facilitasse no momento da elaboração dos mesmos.

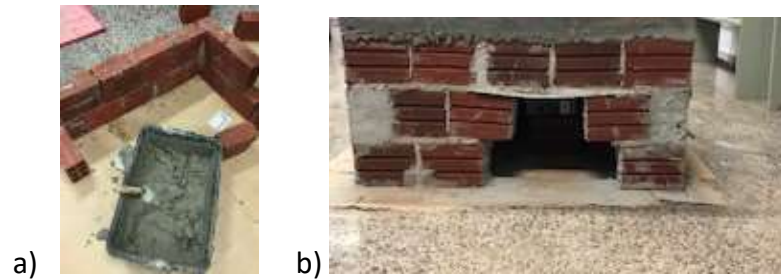
Figura 01 - Protótipos.



a) Laje Maciça, Fonte: Autor (2020); b) Laje pré-fabricada com preenchimento de EPS, Fonte: Dalberto (2017); c) Laje pré-fabricada com preenchimento de tavela cerâmica, Fonte: Dalberto (2017).

O modelo construtivo dos protótipos foi realizado em base de alvenaria, tijolo cerâmico seis furos, assentados a cutelo, Figura 02 (a), onde sobre estes, foram instaladas as lajes. Sobre a base, foi deixado um orifício no centro para fazer a medição do ruído, Figura 02 (b).

Figura 02 - a) Assentamento de tijolos; b) Orifício no centro do protótipo.



Fonte: Autor (2021).

Os três protótipos foram produzidos com as mesmas dimensões para ambos, sendo executados todos da mesma forma, alterando apenas o modelo da laje.

- Altura: 58 cm (maciça 54 cm)
- Largura: 100 cm
- Comprimento: 100 cm

Entre os tijolos foi aplicada uma camada de argamassa para assentamento entre eles. Na parte exterior dos protótipos foi feita vedação dos orifícios dos tijolos que ficaram nas laterais, para que isso não interfira na coleta dos dados.

A argamassa foi preparada na proporção de 1:1:6 (cimento, cal hidratada e areia) em volume, com relação água/cimento 1,25. Este traço foi obtido por meio de Dubaj (2000), sendo adaptada somente a relação água/cimento de acordo com as necessidades deste trabalho. A mistura dos materiais para confecção da argamassa se deu em uma betoneira seguindo os seguintes passos:

- a) Adição cimento, cal, areia e adição de água gradualmente;

O tempo de mistura foi de aproximadamente 5 minutos, tempo necessário para obtenção de uma mistura firme e homogênea. Os protótipos foram posicionados sobre uma chapa de papelão com espessura de aproximadamente 1 cm de espessura, 150 cm de comprimento, 150 cm de largura, Figura 03.

Figura 03 - Posicionamento dos protótipos.



Fonte: Autor (2021).

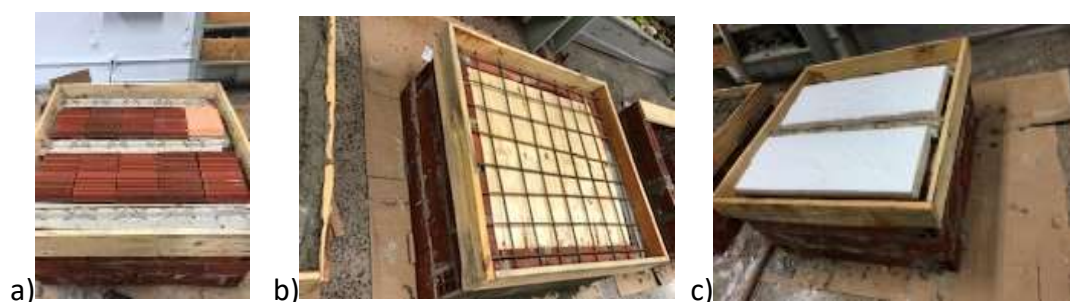
Após a construção da base dos três protótipos deu-se início a montagem dos três modelos de lajes para em seguida ser feito a concretagem. Cada protótipo contou com material de enchimento distinto. As dimensões das lajes são de 100 cm de comprimento, 100 cm de largura e 12 cm de espessura, somente a laje maciça foi construída com espessura menor, de 8 cm, para que não sobrecarregue o protótipo.

A laje pré-fabricada com tavela cerâmica foi realizada dentro dos padrões indicados pelo presente trabalho. Na divisão entre as tavelas cerâmicas foi utilizado três vigotas de concreto treliçada e, um total de dez tavelas cerâmicas. Nas laterais foram utilizadas formas de madeira para escorar a laje, conforme mostra Figura 04 (a).

Na construção da laje maciça, por serem lajes de tamanhos pequenos e por não haver nenhuma sobrecarga nesta estrutura, somente o peso próprio, foi utilizado 8 barras de aço de 8 mm na vertical e 8 barras de aço de 8 mm na horizontal para armadura mínima para a laje maciça, com espaçamento de aproximadamente 10 cm entre cada barra, Figura 04 (b). Na parte inferior da laje foi utilizada uma placa de compensado e escorras internas para dar sustentação a laje, após a retirada das formas as escorras foram retiradas.

A laje pré-fabricada com tavela de *EPS* foi realizada dentro dos padrões indicados pelo presente trabalho. Na divisão entre as placas foram utilizadas três vigotas treliçadas e, um total de duas placas de *EPS*. Nas laterais foram utilizadas formas de madeira para escorar a laje, conforme mostra Figura 04 (c).

Figura 04 – Lajes



a) Laje de tavela cerâmica; b) Laje maciça; c) Laje pré-fabricada com tavela de EPS.

Fonte: Autor (2021).

Após finalizado as três lajes, foi depositado uma camada de concreto para o cobrimento das lajes, Figura 05 e, submetido ao processo de cura.

Figura 05 - Protótipos com a laje concretada.



Fonte: Autor (2021).

Durante os primeiros cinco dias os protótipos foram molhados para obedecer ao processo de cura. Após isso foram retiradas as fôrmas e das escorras e ainda, foi feita vedação dos orifícios dos tijolos que ficaram nas laterais, para que isso não interfira na coleta de dados, Figura 06.

Figura 06 - Protótipos finalizados.



Fonte: Autor (2021).

Os três protótipos ficaram distantes um do outro, a fim de não interferir a coleta de dados. As três lajes ficaram expostas, e nenhuma pintura foi utilizada, tanto nas laterais do protótipo, quanto nas lajes.

Métodos de avaliação do desempenho acústico

Os métodos de avaliações utilizados nesta pesquisa foram de acordo com a norma de desempenho, ABNT NBR 15575:2013 – Edificações habitacionais – desempenho e ABNT NBR ISO 16283-1:2018 – Acústica medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações.

Após os protótipos estarem prontos foi realizada coleta de dados através de dois decibelímetro, onde um aparelho foi utilizado na parte externa e outro na parte interna de cada protótipo.

O primeiro passo foi zerar o decibelímetro e ativar a função “máx” do aparelho, para que após a batida ocasionada pelo impacto, o equipamento colha o número máximo de decibéis, sendo assim os dados apresentados são números máximos de

decibéis ocasionados pelo impacto da batida. Os aparelhos foram posicionados na parte interior do protótipo 30 cm abaixo da laje, apoiado sobre um tijolo em uma posição interna central e outro na parte exterior apoiado sobre dois tijolos 30 cm acima da laje, Figura 07, após, a abertura do protótipo foi vedado com um bloco de EPS simulando uma porta convencional.

Figura 07 – Medição sonora.



Fonte: Autor (2021).

Foi gerado um som por impacto com um equipamento da construção civil, Figura 08, através de uma batida com o equipamento na superfície da laje. Um decibelímetro foi deixado na parte externa e, outro na parte interna para que se obtenha os resultados no mesmo momento.

Figura 08 - Equipamento para gerar som mecânico.



Fonte: Autor (2021).

O procedimento foi repetido dez vezes para todos os protótipos. Sempre respeitando a função máxima do equipamento para que ele colha o maior número de decibéis emitido pelo impacto.

Através dos resultados das medições que foram coletadas foi calculada a diferença entre a medição interna e externa e calculado a porcentagem de som

absorvida por cada sistema de laje em cada uma das medições. Posterior ao cálculo de porcentagem do som absorvido por cada medição foi elaborado um gráfico a fim de analisar os valores que estão dentro do desvio padrão. Após, foi realizada média destes valores a fim de se obter a porcentagem de som em que cada sistema de laje absorveu, para considerar qual o melhor método que possui maior isolamento acústico a fim de propiciar condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos.

A escolha de cada uma das lajes se deu devido a vários fatores, desde econômico ou até mesmo para melhorar a qualidade do conforto acústico das residências. É evidente que empregar materiais isolantes, melhoram as condições de conforto dentro dos ambientes, tornando-o mais aconchegante e agradável para ocupação. Desta forma, o trabalho teve como princípio a pesquisa dos materiais e seus constituintes e posteriormente os ensaios, para analisar qual o melhor método de isolamento acústico entre os três diferentes tipos de lajes adotados.

Resultados e discussão

Resultados

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos pela pesquisa em relação aos objetivos do trabalho, que são:

- Montar três protótipos em escala reduzida (laje maciça, laje pré-fabricada com tavela cerâmica e laje pré-fabricada com tavela em *EPS*) para realização dos ensaios;
- Aplicar fonte de ruído na parte externa e interna aos protótipos, fazendo a medição sonora com o auxílio de um medidor de nível de pressão sonora;
- Analisar e comparar os resultados através de gráficos em relação ao método que possui melhor isolamento acústico entre os três modelos de lajes apresentadas.

Os resultados foram obtidos através da realização dos ensaios conforme metodologia descrita no Item 4 e, neste Item serão analisados os resultados do ensaio de abatimento tronco, ensaio de compressão axial e diametral, ensaio de absorção de umidade e análise do desempenho acústico dos protótipos.

Ensaio de abatimento tronco cone

O resultado do ensaio de abatimento de tronco cone apresentou no Ensaio 01: 2,7 cm, Ensaio 02: 2,8 cm, Ensaio 03: 2,9 cm de abatimento. Pode-se notar que o traço utilizado apresentou um abatimento médio de 2,8 cm. Conforme a ABNT NBR NM

16889:2020 para ser considerado um concreto de ótimas trabalhabilidade o seu abatimento deve estar entre 10 cm + – 2 cm. Uma possível causa para diminuição dos resultados em ambas as medições, se dá ao fato de ter sido utilizado menos quantidade de água, permitindo que o concreto seja menos trabalhável. (ABNT NBR NM 16889:2020).

Verificação da resistência mecânica do traço de concreto

No Quadro 02 são apresentados os resultados do ensaio de compressão axial e diametral, obtidos no período de 7 e 28 dias.

Quadro 1 - Ensaio de compressão axial e diametral

7 dias	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Média soma total ÷ 5
Compressão axial	11,84 MPa	11,16 MPa	14,07 MPa	13,08 MPa	12,70 MPa	12,57 MPa
Compressão diametral	46,79 kN	55,11 kN	59,12 kN	55,11 kN	49,86 kN	53,20 kN
28 dias	CP 1	CP 2	CP 3	CP 4	CP 5	Média soma total ÷ 5
Compressão axial	13,26 MPa	13,86 MPa	21,77 MPa	16,71 MPa	18,04 MPa	16,73 MPa
Compressão diametral	14,29 kN	30,03 kN	11,54 kN	49,99 kN	47,19 kN	30,61 kN

Fonte: Autor (2021).

O traço em questão tinha como objetivo resistência de 25 MPa aos 28 dias, sendo assim, percebe-se que a resistência está 33,10 % menor para o ensaio de compressão axial. Analisando o traço e os resultados obtidos podem ser constatados que foi utilizado pouca água no traço, sendo que quando se tem falta de água, os processos de lançamento (do concreto no local em que vai ser feito) e adensamento (processo de eliminação do ar e dos vazios contidos na massa) são dificultados, provocando falhas de concretagem e comprometendo a qualidade do material.

Por esses motivos, é importante controlar a quantidade de água, pois, ao fazer isso, se estará controlando a consistência do concreto, garantindo assim que suas propriedades sejam mantidas conforme planejado. (BARROS, 2016). O resultado obtido foi inferior ao esperado, mas como o objetivo do trabalho é isolamento acústico e não resistência mecânica o traço foi mantido para confecção das lajes.

Ensaio de absorção de umidade

O traço padrão apresentou um ganho de massa média de 3,13 % no primeiro dia de imersão, 2,98 % no terceiro dia de imersão, 2,86 % no quinto dia e, 2,88 % no sétimo dia de imersão, para os 5 corpos de provas que foram moldados em copos plásticos.

Medição sonora

A Figura 09 demonstra a aplicação da fonte de ruído na parte externa fazendo a medição sonora com dois medidores de níveis de pressão, sendo que, na parte externa o equipamento ficou 30 cm acima da laje e, na parte interna 30 cm abaixo da laje.

Figura 9 – Coleta de dados.



Fonte: Autor (2021).

São apresentados quadros com os resultados obtidos dos três protótipos, sendo que, a medição interna e medição externa foram obtidas no mesmo momento. Vale lembrar que o som ambiente coletado através do equipamento foi de aproximadamente 36,9 Db externamente e 31,6 Db internamente. A NBR 15575-4:2013 Edificações habitacionais — Desempenho Parte 4, Anexo F, apresenta que valores ≥ 30 Db, são valores dentro dos parâmetros das normalidades aceitáveis de níveis de desempenho para medição.

Laje maciça

O Quadro 03 apresenta a porcentagem do som absorvido pela laje maciça com base na medição externa e interna.

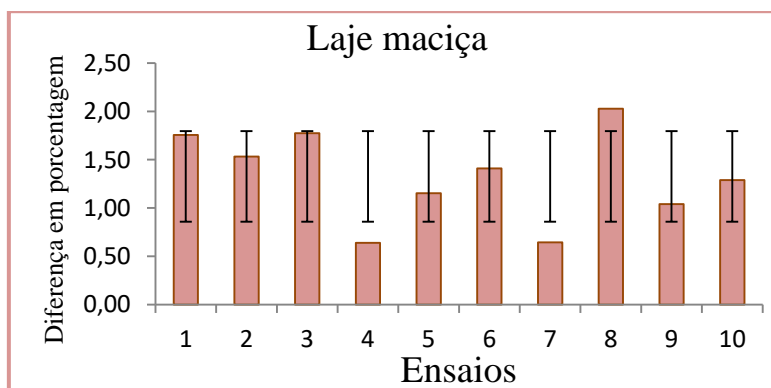
Quadro 02 – Porcentagem de som absorvida pela laje maciça.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
1	79,7	78,3	1,4	1,76
2	78,3	77,1	1,2	1,53
3	78,9	77,5	1,4	1,77
4	78,3	77,6	0,7	0,89
5	78,1	77,2	0,9	1,15
6	78,0	76,9	1,1	1,41
7	77,6	77,1	0,5	0,64
8	78,9	77,3	1,6	2,03
9	76,9	76,1	0,8	1,04
10	78,0	76,6	1,0	1,29

Fonte: Autor (2021).

O Gráfico 01 apresenta a variação de medições baseadas na porcentagem de som absorvido pela laje, entre a medição externa e interna, seguido pela barra de erros para descartar os valores fora do desvio padrão. O desvio padrão calculado com base no item Porcentagem do som absorvido pela laje, apresentado no Quadro 16 é de 0,47%.

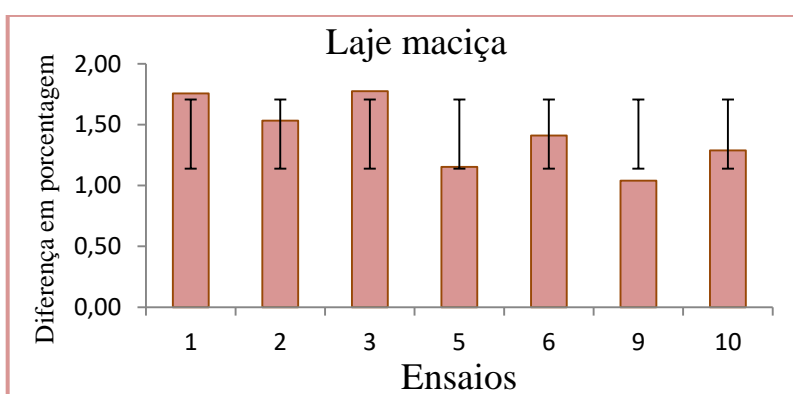
Gráfico 01: Dados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 01, os valores obtidos pelas medições 4, 7 e 8 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 1, 2, 3, 5, 6, 9 e 10 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 02 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,28%.

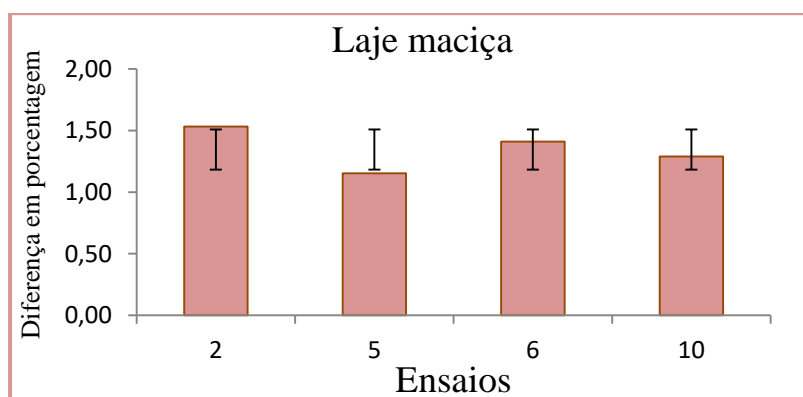
Gráfico 02: Dados reapresentados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 02, os valores obtidos pelas medições 1, 3 e 9 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 2, 5, 6 e 10 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 03 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,16%.

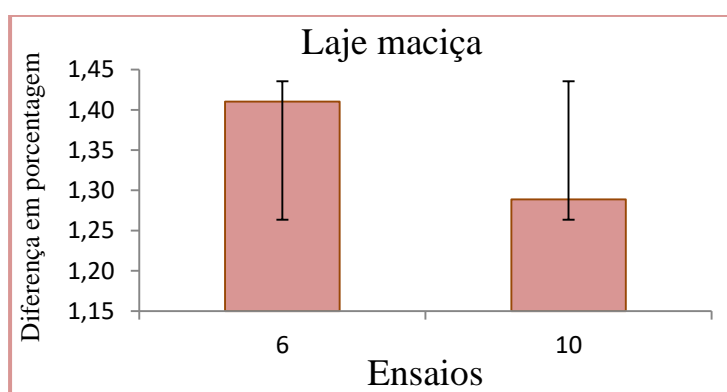
Gráfico 03: Dados reapresentados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 03, os valores obtidos pelas medições 2 e 5 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 6 e 10 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 04 rerepresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,09%.

Gráfico 04: Dados rerepresentados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 04, os valores obtidos pelas medições 6 e 10 estão dentro do desvio aceitável. O Quadro 04 rerepresenta os valores após o cálculo da barra de erros.

Quadro 03 - Valores atualizados.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
6	78	76,9	1,1	1,41
10	78	76,6	1,0	1,29
Média				1,35

Fonte: Autor (2021).

A média apresentada no Quadro 06 quer dizer que, no momento do impacto, a laje maciça absorveu 1,35% do som, fazendo com que 98,65% passasse para parte interior.

Laje com tavela cerâmica

O Quadro 05 apresenta a porcentagem do som absorvido pela laje com tavela cerâmica com base na medição externa e interna.

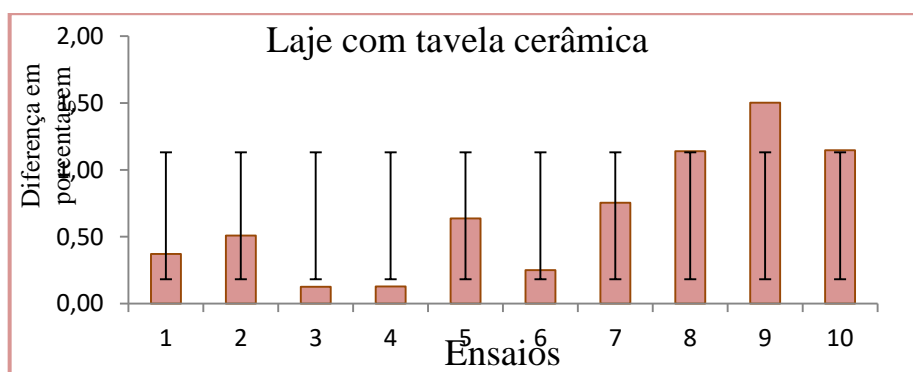
Quadro 04 – Porcentagem de som absorvida pela laje com tavela cerâmica.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
1	80,7	80,4	0,3	0,37
2	78,7	78,3	0,4	0,51
3	79,4	79,3	0,1	0,13
4	77,9	77,8	0,1	0,13
5	78,5	78	0,5	0,64
6	80	79,8	0,2	0,25
7	79,6	79	0,6	0,75
8	79	78,1	0,9	1,14
9	79,9	78,7	1,2	1,50
10	78,5	77,6	0,9	1,15

Fonte: Autor (2021).

O Gráfico 05 apresenta a variação de medições baseadas na porcentagem de som absorvido pela laje, entre a medição externa e interna, seguido pela barra de erros para descartar os valores fora do desvio padrão. O desvio padrão calculado com base no item Porcentagem do som absorvido pela laje, apresentado no Quadro 18 é de 0,47%.

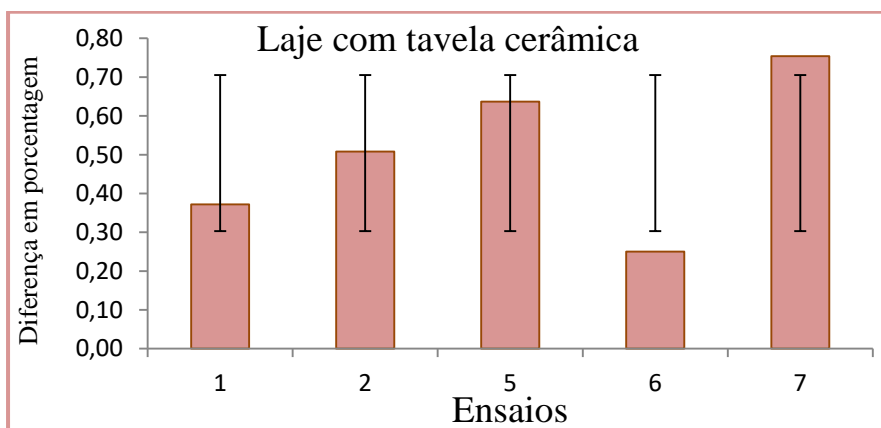
Gráfico 05: Dados: laje com tavela cerâmica.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 05, os valores obtidos pelas medições 3, 4, 8, 9 e 10 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 1, 2, 5, 6 e 7 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 06 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,20%.

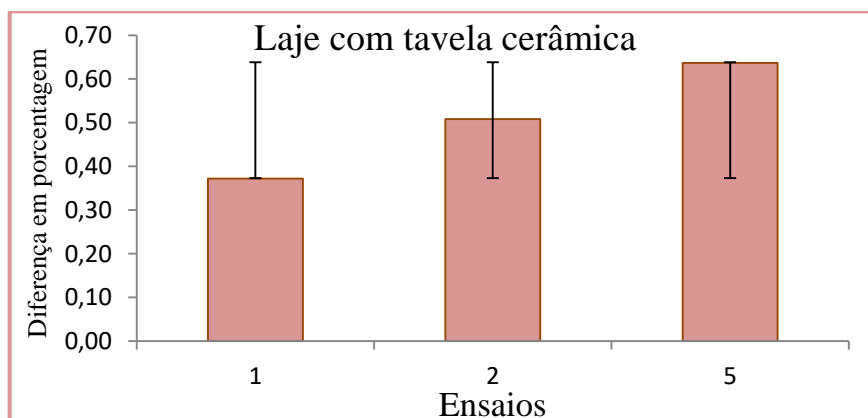
Gráfico 06: Dados reapresentados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 06, os valores obtidos pelas medições 6 e 7 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 1, 2 e 5 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 07 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,13%.

Gráfico 07: Dados reapresentados: laje maciça.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 07, os valores obtidos pelas medições 1, 2 e 5 estão dentro do desvio aceitável. O Quadro 06 reapresenta os valores após o cálculo da barra de erros.

Quadro 05 – Valores atualizados.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
1	80,7	80,4	0,3	0,37
2	78,7	78,3	0,4	0,51
5	78,5	78	0,5	0,64
Média				0,50

Fonte: Autor (2021).

A média apresentada no Quadro 08 quer dizer que, no momento do impacto, a laje pré-fabricada com tavela cerâmica absorveu cerca de 0,50 % do som, fazendo com que 99,50% do som passasse para parte interior.

Laje com tavela de EPS

O Quadro 07 apresenta a porcentagem do som absorvido pela laje com tavela de EPS com base na medição externa e interna.

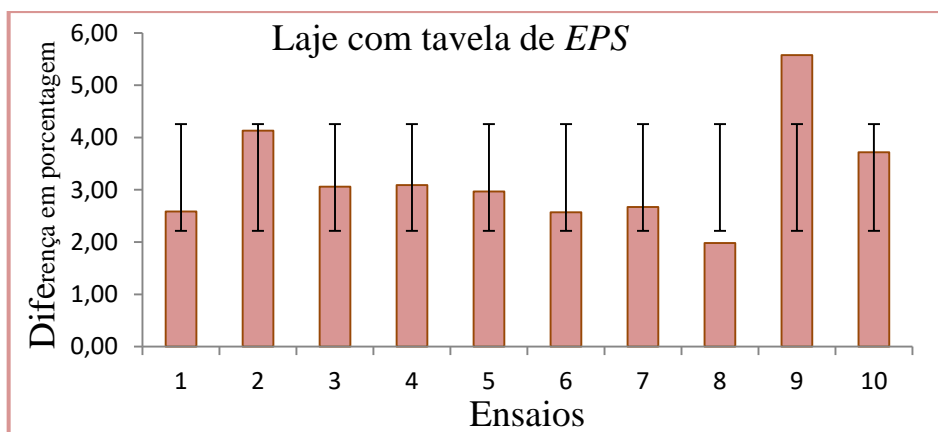
Quadro 06 - Porcentagem de som absorvida pela laje com tavela de EPS.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
1	81,2	79,1	2,1	2,59
2	82,3	78,9	3,4	4,13
3	81,7	79,2	2,5	3,06
4	84,1	81,5	2,6	3,09
5	80,9	78,5	2,4	2,97
6	81,7	79,6	2,1	2,57
7	82,4	80,2	2,2	2,67
8	80,7	79,1	1,6	1,98
9	82,5	77,9	4,6	5,58
10	83,4	80,3	3,1	3,72

Fonte: Autor (2021).

O Gráfico 08 apresenta a variação de medições baseadas na porcentagem de som absorvido pela laje, entre a medição externa e interna, seguido pela barra de erros com porcentagem para descartar os valores fora do desvio padrão. O desvio padrão calculado com base no item Porcentagem do som absorvido pela laje, apresentado no Quadro 08 é de 1,02%.

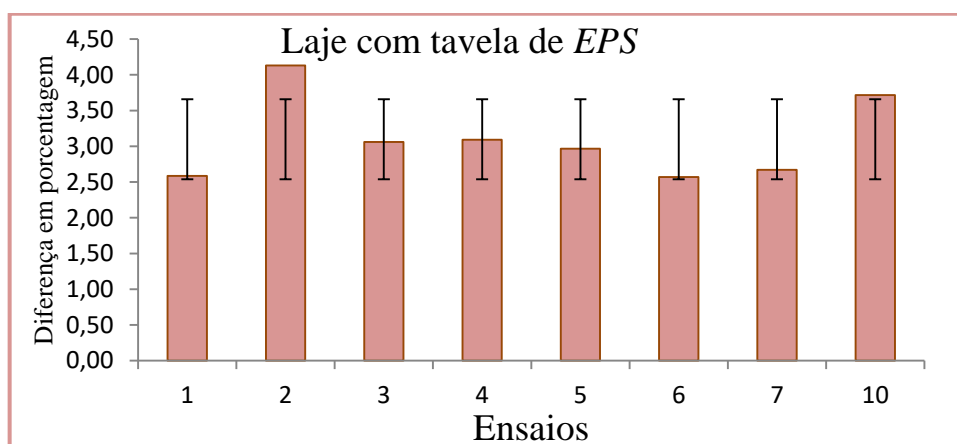
Gráfico 08: Dados: laje com tavela de EPS.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 08, os valores obtidos pelas medições 8 e 9 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 10 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 09 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,56%.

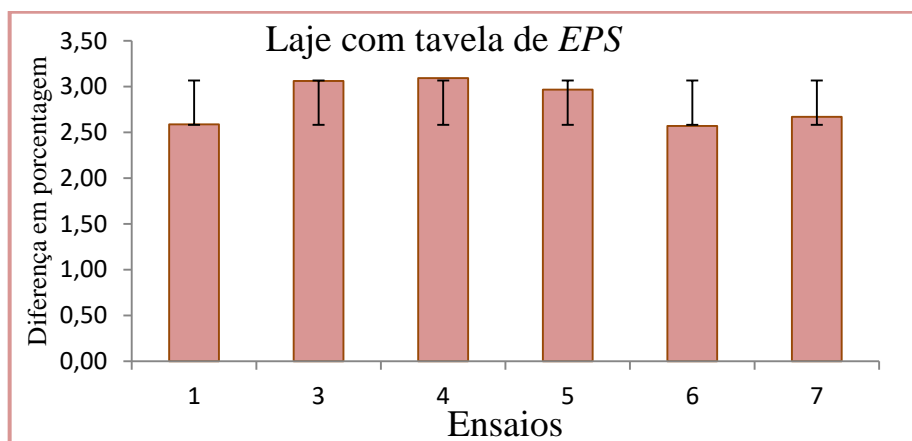
Gráfico 09: Dados reapresentados: Laje com tavela de EPS.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 09, os valores obtidos pelas medições 2 e 10 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 1, 3, 4, 5, 6 e 7 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 10 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,24%.

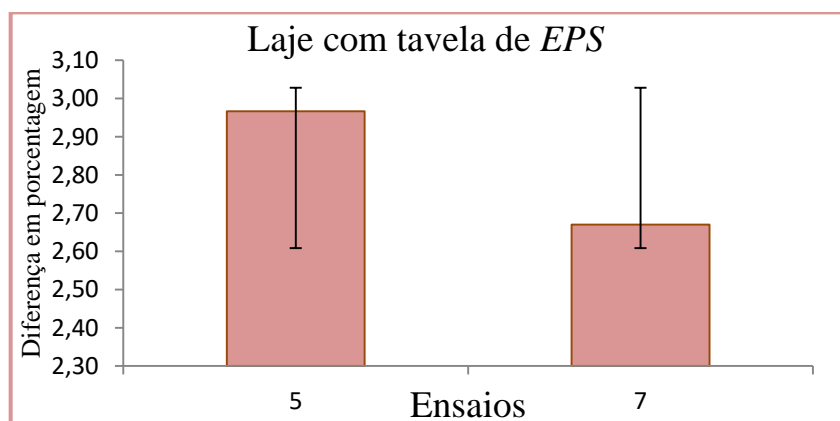
Gráfico 10: Dados reapresentados: laje com tavela de EPS.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 10, os valores obtidos pelas medições 1, 3, 4 e 6 estão fora do desvio padrão baseados na porcentagem, sendo assim foram descartados esses valores. As medições 5 e 7 estão dentro do desvio aceitável, desta forma o Gráfico 11 reapresenta os valores a fim de considerar os que estão dentro do desvio padrão. O novo desvio padrão calculado com base na porcentagem do som absorvido pela laje é de 0,23%.

Gráfico 11: Dados reapresentados: laje com tavela de EPS.



Fonte: Autor (2021).

Com base nos resultados apresentado no Gráfico 11, os valores obtidos pelas medições 5 e 7 estão dentro do desvio aceitável. O Quadro 08 reapresenta os valores após o cálculo da barra de erros.

Quadro 07 - Valores atualizados.

Medição	Medição externa	Medição interna	Diferença entre medição ext. / int.	Porcentagem do som absorvido pela laje (%)
5	80,9	78,5	2,4	2,97
7	82,4	80,2	2,2	2,67
Média				2,82

Fonte: Autor (2021).

A média apresentada no Quadro 08 quer dizer que, no momento do impacto, a laje pré-fabricada com tavela de EPS absorveu cerca de 3,10 % do som, fazendo com que 97,18% do som passasse para parte interior.

Análise dos resultados

O Quadro 09 apresenta os resultados das três diferentes tipologias de lajes: Laje maciça, Laje pré-fabricada com tavela cerâmica e Laje pré-fabricada com EPS, expressos em porcentagem após análise da barra de erros para descarte dos valores fora do desvio padrão.

Quadro 08 - Absorções médias.

Tipologia de laje	Valor médio em %
Laje cerâmica	0,50
Laje maciça	1,35
Laje EPS	2,82

Fonte: Autor (2021).

Conforme os resultados explanados na seção, uma simples análise comparativa mostra que a laje pré-fabricada com tabelas cerâmicas é a com menor isolamento ao ruído de impacto, dado que a laje absorve cerca de 0,50 % do som, fazendo com que o restante do som passe para parte interna do protótipo, a laje maciça absorve 1,42%, e a tipologia que apresentou maior absorção do som é a laje pré-fabricada com utilização de EPS com absorção 3,10%.

Considerações finais

O trabalho em estudo teve como objetivo principal analisar a acústica em lajes comparando laje maciça com lajes pré-fabricadas em tabelas cerâmicas e em tabelas de *EPS*, sendo que foram construídos três protótipos em escala reduzida para realização dos ensaios, após foi aplicado fonte de ruído na parte externa e interna aos protótipos, fazendo a medição sonora com o auxílio de dois medidores de nível de pressão sonora. Depois de prontos, foi analisado os resultados através de gráficos em relação ao método que possui melhor isolamento acústico entre os três modelos de lajes apresentadas.

A utilização de materiais isolantes, ou técnicas de isolamento natural ou artificial melhoram as condições de conforto dentro dos ambientes, tornando o ambiente mais aconchegante e agradável. Materiais utilizados neste trabalho como o *EPS*, apresentou excelentes vantagens em relação à melhora do isolamento acústico de um ambiente, além de diminuir do peso próprio da estrutura. Por outro lado, a laje maciça também apresentou bons resultados em relação ao isolamento acústico, mas em contrapartida acarreta maior peso próprio. Outro modelo de laje testado foi à laje com tavela cerâmica, a qual comparativamente não apresentou bons resultados.

A laje com utilização de tavela cerâmica foi a que apresentou pior resultado, onde o som médio coletado na parte externa foi de 79,42 Db, a mesma absorveu 0,50% do som, fazendo com que passasse para parte interna 78,93 Db. Podemos destacar que o baixo isolamento acústico se deve a baixa massa deste tipo de laje, uma vez que o enchimento da laje é com vigotas treliçadas e tabelas cerâmicas e uma fina camada de concreto para cobrimento.

A laje maciça obteve melhor desempenho ao isolamento de ruído de impacto que a tavela cerâmica, onde o som médio medido na parte externa foi de 78,27 Db, a laje absorveu 1,42%, passando então 77,10 Db para parte interna do protótipo, essa maior absorção do som se deve pelo fato de que a espessura do concreto foi superior a das outras lajes, devido ao fato de que o material de enchimento da laje maciça é o próprio concreto.

Entre as opções exibidas de preenchimento de uma laje, a opção que apresentou melhor atenuação do ruído de impacto é a laje pré-fabricada com tavela de *EPS*, da forma que ao som entrar em contato a laje o decibelímetro registrou 82,21

Db na parte externa, onde a laje com EPS absorveu 3,10% passando para parte interna 79,66 Db. A maior absorção do som se dá pelo fato de que a densidade do EPS faz com que o material absorva as ondas e por ter uma espessura considerável.

A escolha do tema para realização do trabalho teve como princípio apresentar resultados quanto à utilização de materiais em lajes para servir como isolante acústico, em virtude de que há pouca pesquisa com materiais utilizados em lajes visando o isolamento. Dessa forma a pesquisa se tornou complexa, mas, ao mesmo tempo um desafio para conseguir expor todas as ideias para que o trabalho atingisse os objetivos propostos e, conseguisse apresentar resultados de forma íntegra.

O trabalho visa analisar o melhor método em isolamento acústico para ser utilizado em construções que necessitem deste método tais como: hospitais, teatros, edificações localizadas em grandes cidades e, também para edificações em que se faça necessário tal uso. Há diversas formas dentro da construção civil que ajude melhorar o conforto dos usuários, desta forma, esta pesquisa apresenta apenas uma dentre as várias alternativas disponíveis no mercado, cabe ao profissional habilitado juntamente com seu cliente discutir ideias e soluções para que o projeto seja executado da melhor forma possível, gerando assim, a satisfação de ambas as partes.

Os resultados obtidos foram de acordo com o esperado, sendo assim, pode-se ter uma base de qual material é mais viável acusticamente para utilização em edificações.

Referências

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). *Alvenaria estrutural em pauta* Jaguaré – SP, 2013. Disponível em: <http://www.abcp.org.br/conteudo/imprensa/noticias/alvenaria-estrutural-em-pauta>. Acesso em: 18 out. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). *Parede de concreto – coletânea de ativos*. Jaguaré – SP, 2009 / 2010. Disponível em: <https://abcp.org.br/download/coletanea-de-ativos-em-paredes-de-concreto-2009-2010/>. Acesso em: 16 out. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND (ABCP). *Uma breve história do cimento Portland*. Jaguaré – SP, 2009. Disponível em:

<https://abcp.org.br/cimento/aplicacoes-do-cimento/?politica=sim>. Acesso em: 14 out. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR NM 16889*: Concreto: determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro: ABNT, 2020

_____. *NBR 12655*: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle e recebimento – Procedimento. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

_____. *NBR NM 5738*: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro: ABNT, 2016.

_____. *NBR NM 5739*: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. *NBR NM 7211*: Agregados para concreto - Especificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

_____. *NBR NM 7222*: Concreto e argamassa: Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

_____. *NBR ISO 16283-1*: Acústica medição de campo do isolamento acústico nas edificações e nos elementos de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. *NBR NM 15270-1*: Componentes cerâmicos – Componentes cerâmicos: Blocos e tijolos para alvenaria. Parte 1: Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. *NBR NM 15270-2*: Componentes cerâmicos, Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

_____. *NBR NM 15522*: Laje pré-fabricada – avaliação do desempenho de vigotas e pré-lajes sob carga de trabalho. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

_____. *NBR NM 15575*: Edificações habitacionais – Desempenho - Parte 1. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

_____. *NBR NM 16697*: Cimento Portland Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

_____. *NBR NM 16866*: Poliestireno expandido (EPS) - Determinação das propriedades - Métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

_____. *NBR NM 9778*: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água por imersão - Índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

BARROS, P. *Traço de concreto: a importância do controle de água*. 2016. Disponível em: <https://www.mapadaobra.com.br/inovacao/traco-de-concreto-a-importancia-do-controle-de-agua/>. Acesso em: 09 mai. 2021.

CARVALHO, R. P. *Acústica arquitetônica*. 2 Ed. Brasília: Thesaurus Editora, 2010.

CASTILHO, H. *A importância das normas na construção civil*. 2017. Disponível em: <http://henriquecastilho.com.br/blog/importancia-das-normas-na-construcao-civil/>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. *Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico*. 17º CBECEI - Mat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu, PR, 2006.

FARIA, P. H. *Tratamento acústico na construção civil*. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia Departamento de Engenharia de Materiais e Construção Curso de Especialização em Construção Civil. Belo Horizonte, 2013.

HOPPEN, C. *et al. Uso de lodo de estação de tratamento de água centrifugado em matriz de concreto de cimento Portland para reduzir o impacto ambiental*. Curitiba, Quim. Nova, v.29, n.1, p.82, 2006.

LAMBERTS, R. *Eficiência energética na arquitetura*. 2º ed. São Paulo, 2004.

OGAWA, M. O. A.; FILHO, M. C. A.; RASSI, P. F. *Isolamento acústico ao ruído de impacto em lajes de edifícios habitacionais*. Goiânia, 2014.

TRIGO, A. P. M.; AKASAKI, J. L.; MELGES, J. L. P.; CAMACHO, J. S. *Avaliação do comportamento estrutural de protótipos de lajes pré-moldadas com concreto com resíduo de borracha de pneu*. Ambiente Construído, v. 4, n. 18, 2008.