

**CENTRO UNIVERSITÁRIO UNA – CAMPUS LINHA VERDE**

**ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO E DE CUSTO, ENTRE LAJES PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO, PRÉ-MOLDADAS EM E.P.S E EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM OBRAS DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL, NAS CIDADES DE SANTA LUZIA/ MG E VESPASIANO/MG.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

GUSTAVO ENRIQUE DE ARAÚJO LAUBE - gustavolaube0@gmail.com

JOÃO VICTOR DUTRA BRANDÃO - brandaojvd@gmail.com

THAISA FAGUNDES FREITAS - thaisa.ffreitas@gmail.com

YARI TAMEIRÃO FÉLIX - yaritameiraofelix@gmail.com

**BELO HORIZONTE**

**2021**

ANÁLISE DE DESEMPENHO ACÚSTICO E DE CUSTO, ENTRE LAJES PRÉ-MOLDADAS DE CONCRETO, PRÉ-MOLDADAS EM E.P.S E EM CONCRETO ARMADO: ESTUDO DE CASO EM OBRAS DE EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL, NAS CIDADES DE SANTA LUZIA/ MG E VESPASIANO/MG.

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil. Centro Universitário  
UNA.

Orientador: Prof. M.Sc. Sérgio Augusto  
Rodrigues Alves Affonso

BELO HORIZONTE

2021

“ A ambição é o puro senso de dever pois a si só não produz frutos realmente importantes para a pessoa humana, pelo contrário, os frutos verdadeiros derivam do amor e da dedicação para com as pessoas e as coisas. ”

Albert Einstein

## RESUMO

O desempenho dos edifícios inclui muitos aspectos, como habitabilidade, segurança e durabilidade. Com o objetivo de reduzir custos, encurtar o tempo de execução da obra e a precariedade das definições mínimas da laje, a qualidade do produto final ficará comprometida do ponto de vista do desempenho acústico. Portanto, de acordo com os parâmetros definidos na norma de desempenho (NBR 15575: 2013), foram realizados estudos de caso de obras residenciais nas cidades de Santa Luzia / MG e Vespasiano / MG para definir quais apresentaram os melhores resultados.

**Palavras Chaves:** Desempenho Acústico. Norma Desempenho. Laje. E.P.S. Concreto. Pré-moldado

## SUMÁRIO

|                                            |    |
|--------------------------------------------|----|
| RESUMO.....                                | 3  |
| SUMÁRIO.....                               | 4  |
| 1. INTRODUÇÃO.....                         | 5  |
| 4. METODOLOGIA.....                        | 9  |
| 5. DESENVOLVIMENTO .....                   | 10 |
| 5.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO..... | 10 |
| 5.2. COMPARATIVO DE CUSTOS .....           | 13 |
| 6. RESULTADOS .....                        | 15 |
| 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....               | 16 |
| 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....        | 18 |

## **1. INTRODUÇÃO**

O desempenho de uma edificação abrange vários aspectos, tais como habitabilidade, segurança e durabilidade, visando atender as exigências e necessidades de seus usuários. Para assegurar que esses aspectos sejam atendidos, foi criada a ABNT NBR15575:2013 – Edifícios Habitacionais – Desempenho”, usualmente conhecida como a norma brasileira de desempenho. Esta norma visa estabelecer um padrão mínimo, definindo critérios de desempenho e métodos de avaliação dos imóveis habitacionais.

Em virtude da verticalização das construções, os sistemas de laje e piso passaram a ter grande importância, visto que suas características contribuem diretamente para a qualidade acústica de uma unidade habitacional. Na busca pela redução de custo, tempo de execução de obra e pela precariedade nas definições mínimas das seções das lajes, a qualidade do produto final do ponto de vista do desempenho acústico é prejudicada.

Entende-se como sistema de piso o elemento responsável por separar unidades habitacionais em diferentes andares, composto por uma camada estrutural – laje – e por componentes opcionais, como contrapiso e/ou revestimento. A ABNT NBR 15575:2013 apresenta os requisitos e critérios para verificação de isolamento acústico deste sistema entre unidades autônomas, considerando o isolamento de ruído de impacto (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros). Seus valores normativos são obtidos por meio de ensaios realizados em campo para o sistema construtivo.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho discorre sobre três tipos de laje: pré-moldadas em concreto, pré-moldadas em isopor (E.P.S) e em concreto armado moldado “in loco”, executadas em obras distintas, analisando testes de desempenho acústico e custo de execução por metro quadro, visando definir qual apresenta o melhor resultado, conforme parâmetros definidos na Norma de Desempenho (NBR 15575:2013).

Para seu desenvolvimento serão realizadas pesquisas bibliográficas em livros, artigos, teses de mestrado e dissertações de doutorado, visando identificar as características e a forma de execução para cada tipo de laje em estudo, bem como a análise do desempenho acústico de lajes em edificações multifamiliares, através de testes realizados em obras já executadas na região metropolitana de Belo Horizonte/MG.

O desenvolvimento das composições de preço unitário por metro quadrado da execução de cada tipo de laje se deu através da equalização entre os coeficientes apresentados na tabela SINAPI, com as bases de dados fornecidas pelas construtoras responsáveis pelos empreendimentos em estudo, onde os valores encontrados viabilizaram a definição de qual apresenta o melhor “custo x benefício”.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

De acordo com a NBR 6118:2014, lajes são classificadas como elementos de superfície, planos e bidimensionais, que são aqueles nos quais duas dimensões (comprimento e largura) são da mesma ordem de grandeza e muito maiores que a terceira dimensão, a espessura, também podem ser chamadas de placas. São elementos estruturais responsáveis por receber a maioria das cargas aplicadas em uma edificação (pessoas, móveis, máquinas e equipamentos, paredes, veículos e os mais variados tipos de cargas).

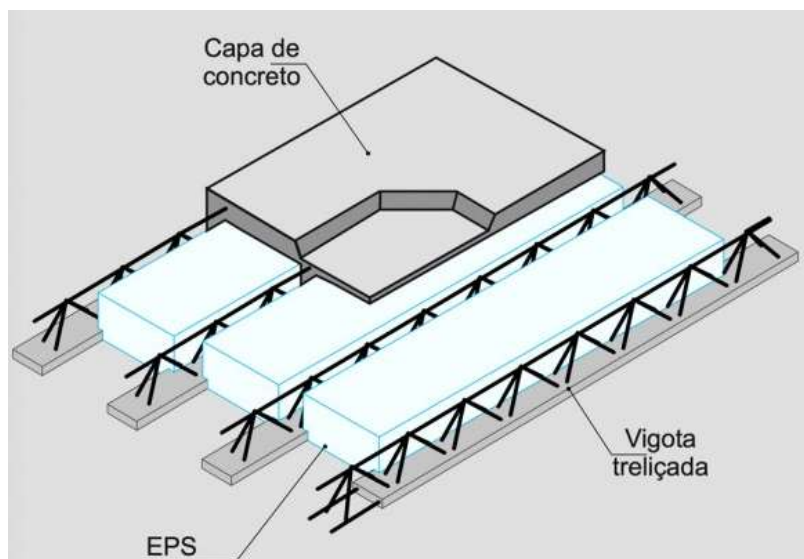
Para Pinheiro (2007) as lajes são elementos planos com duas dimensões muito maiores que a terceira e sua principal função é receber os carregamentos do andar, como: pessoas, móveis, equipamentos, impactos, etc. e transferi-los para a estrutura.

Confome BASTOS (2021), a laje maciça é aquela na qual toda a espessura é composta por concreto, contendo armaduras longitudinais de flexão e eventualmente armaduras transversais, chamada também de laje em concreto armado. E para Carvalho e Pinheiro (2009), as vantagens das lajes maciças são a sua execução simples, e o fato de apresentarem pouca deformação e esforços relativamente pequenos.

BORGES (1997) especifica que lajes pré-moldadas são formadas por uma parte pré-moldada de concreto armado, usualmente conhecidas como vigotas, um elemento de

enchimento, como bloco cerâmico ou isopor (E.P.S.) e uma capa de concreto moldada no local (Figura 1).

*Figura 1 - Laje em vigotas pré-moldadas*



*Fonte: Lajes Jundiaí, 2015*

SILVA et al. (2012), explica que no sistema de lajes treliçadas o uso do isopor (E.P.S.) substitui com vantagens as lajotas cerâmicas e ou de concreto, por ser um material muito leve, possuir resistência mecânica boa, funcionar como isolante térmico e acústico e ter maior facilidade para recortes nas tubulações e cantos irregulares.

TEIXEIRA et al. (2016) explica que a laje içada, também conhecida como sistema de pré-lajes, é chamada assim por ser fabricada no solo do próprio canteiro de obras, de forma maciça, ou seja, de concreto armado, sendo na sequência içada através de um guindaste para cima da casa ou prédio. Durante a sua fabricação são colocadas as armaduras, ganchos de içamento, tubulações elétricas, passagens hidráulicas e despejado o concreto usinado, na sequência é dado o acabamento da laje, de acordo com MELO (2007).

O conceito de conforto acústico implica em uma sensação de bem-estar, tranquilidade e satisfação no trabalho e lazer. Portanto, também deve ser um motivo para os construtores prestarem atenção, não apenas dentro do escopo de leis e regulamentos, mas também em termos de satisfação e conforto do cliente, pois segundo Oral et al.

(2009), é importante ponderar que, em muitas das situações, a sensação de conforto acústico passa despercebida durante a execução dos empreendimentos.

Fernandes (2002) conceitua absorção sonora como a propriedade de alguns materiais em não permitir que o som seja refletido por uma superfície. Ou seja, considera tanto o som dissipado quanto o som transmitido, conforme demonstrado na Figura 2 .

*Figura 2: Esquema de transmissão de som de sistema isolante*



*Fonte: Carvalho, 2006*

Segundo Hall (1999), o sistema de pisos flutuantes é o método mais utilizado para a obtenção de valores adequados de nível de pressão sonora de impacto. Comumente, visando a melhoria no desempenho acústico e isolamento térmico, utiliza-se em sistemas de piso uma manta de polietileno expandido de baixa densidade (PEBD), com espessuras que variam entre 1 e 10 mm, desenvolvida para o seguimento da construção civil. (MORAES, 2019).

Conforme a NBR 15575:2013, as edificações habitacionais devem apresentar isolamento acústico adequado das vedações externas, no que se refere aos ruídos aéreos provenientes do exterior da edificação habitacional, bem como o isolamento acústico adequado entre as áreas comuns e privativas e entre áreas privativas de unidades autônomas diferentes, propiciando condições mínimas de desempenho acústico da edificação, com relação a fontes normalizadas de ruídos externos aéreos.

São considerados o isolamento de ruído de impacto no sistema de piso (caminhamento, queda de objetos e outros) e o isolamento de ruído aéreo (conversas, som proveniente de TV e outros). Os valores normativos são obtidos por meio de ensaios realizados em campo para o sistema construtivo (NBR 15575:2013).

Segundo ProAcústica (2013), a transmissão do ruído de impacto entre duas unidades habitacionais sobrepostas em uma edificação é realizada por meio do sistema de piso (1 via de transmissão direta) e elementos laterais ou paredes (4 vias de transmissão indireta). Essas transmissões dependem da natureza da solução construtiva, das conexões entre elas e da geometria do espaço.

Já a transmissão de ruído aéreo entre as duas unidades habitacionais sobrepostas no edifício, ocorre através do próprio sistema de piso (1 via de transmissão direta) e elementos laterais ou paredes (12 vias de transmissão indireta). Portanto, o desempenho do isolamento de ruído do ar entre os dois ambientes separados pelo sistema de piso do edifício ( $D_{nT,w}$ ) geralmente não é tão bom quanto o desempenho do mesmo sistema de piso que foi testado em laboratório (Associação Brasileira de Qualidade Acústica - Manual ProAcústica, 2013).

#### **4. METODOLOGIA**

O desenvolvimento foi realizado utilizando o método de pesquisa descritiva com a finalidade de analisar os custos de diferentes tipos de lajes e os resultados de seus respectivos testes de desempenho acústico, através de laudos técnicos fornecidos pelas construtoras “1” e “2”, além de um estudo bibliográfico composto pela norma de desempenho (NBR15575:2013), bem como livros de autores como BORGES (1997), MELO (2007) e TEIXEIRA (2016), na busca por estudar a tipologia de cada laje apresentada, demonstrando-se os resultados objetivos.

O estudo terá caráter qualitativo e quantitativo, com ênfase nos comparativos dos tipos de lajes, o custo que cada uma representa e o conforto acústico resultante, ao mesmo tempo que será necessário o cruzamento dos levantamentos com toda a pesquisa bibliográfica já feita.

## 5. DESENVOLVIMENTO

### 5.1. AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO ACÚSTICO

Para a análise de desempenho acústico foi realizado o estudo de três tipos de sistemas de laje, sendo eles: lajes pré-moldadas de concreto, pré-moldadas de isopor (E.P.S) e em concreto armado.

Os ensaios de desempenho acústico correspondem à empreendimentos de construtoras distintas, sendo os empreendimentos multifamiliares “A” e “B” localizados na cidade de Santa Luzia – MG, e o empreendimento “C” localizado na cidade de Vespasiano – MG.

Cada um dos sistemas apresentam variações no revestimento e no contrapiso, conforme pode ser visto na Tabela 1:

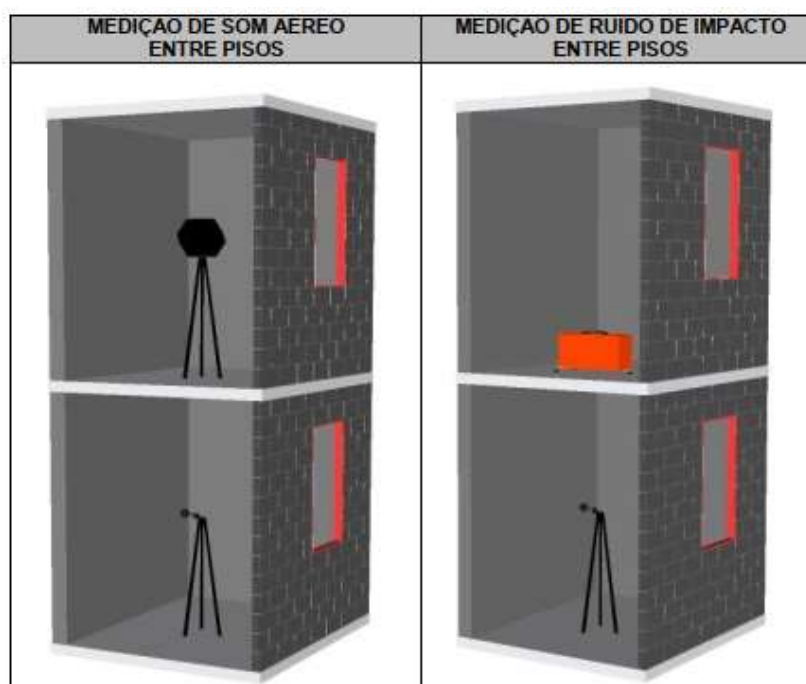
*Tabela 1 - Características dos Sistemas de Pisos analisados*

| Empreendimento | Camada Estrutural                                                | Contrapiso                                                     | Acabamento                                                                                                      |
|----------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| A              | Laje Pré-moldada concreto armado – Espessura: 09 cm – 25 MPa     | Produzido em obra – Traço 1:3 (Com baixo fator água - cimento) | Manta PEBD Eucafloor - 2,0mm +<br>Piso Laminado Eucafloor – Linha Prime – Espessura: 7,0 mm                     |
| B              | Laje Concreto armado– Espessura: 10cm – Fck: 25 MPa              | -                                                              | Manta PEBD Eucafloor - 2,0mm +<br>Piso Laminado Prime Click – Dimensões: 21,7 x 135,7 cm<br>Fornecedor: Eucatex |
| C              | Laje pré-moldada - Isopor (E.P.S) Espessura: 15 cm – Fck: 25 MPa | -                                                              | Piso cerâmico 45x45cm                                                                                           |

*Fonte: Os autores, 2021*

As medições acústicas de ruído de impacto e som aéreo seguiram os procedimentos descritos nas normas ISO 140-4, ISO 140-7 e ISO 140-14, bem como os critérios de desempenho estabelecidos pela NBR 15575-3:2013 – “Edificações Habitacionais – Parte 3: Requisitos para Sistemas de Piso”. Os locais das medições foram ambientes de dormitórios sobrepostos (Figura 2), que não diferem entre si em área e volume.

Figura 3 - Croqui geral do posicionamento dos equipamentos



Fonte: Laboratório Consultare, 2018

Conforme especificado anteriormente, os parâmetros de classificação de níveis de desempenho acústico foram estabelecidos pela NBR15575-3:2013, onde:

- **Ruído de impacto entre pisos ( $L'_{nT,W}$ ):** obtido através da excitação de percussão padrão exercida sobre um pavimento, corrigida da influência das condições de reverberação do ambiente receptor, com seus níveis de desempenho estipulados conforme tabela 2.

Tabela 2 - Critério de nível de pressão sonora de impacto-padrão ponderado,  $L'_{nT,w}$

| Elemento                                                                                                         | $L'_{nT,W}$<br>dB | Nível de desempenho |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------------|
| Sistema de piso de dormitórios separando unidades habitacionais autônomas, posicionadas em pavimentos distintos. | 66 a 80           | Mínimo              |
|                                                                                                                  | 56 a 65           | Intermediário       |
|                                                                                                                  | $\leq 55$         | Superior            |

Fonte: ABNT NBR 15575-3: 2013

- **Som aéreo entre pisos (DnT,W):** obtido através da diferença entre o nível médio de pressão sonora medido no ambiente emissor, produzido por uma ou mais fontes sonoras, e o nível médio de pressão medido no ambiente receptor, com seus níveis de desempenho estipulados conforme tabela 3.

*Tabela 3 - Critérios de diferença padronizada de nível ponderada, DnT,w*

| Elemento                                                                                                       | DnT,W<br>dB | Nível de<br>desempenho |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------------------|
| Sistema de piso entre unidades habitacionais autônomas, no caso de pelo menos um dos ambientes ser dormitório. | 45 a 49     | Mínimo                 |
|                                                                                                                | 50 a 54     | Intermediário          |
|                                                                                                                | ≥ 55        | Superior               |

*Fonte: ABNT NBR 15575-3: 2013*

Os valores obtidos através dos ensaios realizados, bem como sua classificação de desempenho foram relacionados nas tabelas abaixo:

*Tabela 4 - Classificação de Desempenho das Lajes (L'nT'W)*

| Empreendimento | Parâmetro | Resultado |
|----------------|-----------|-----------|
| A              | L'nT,w    | 62dB      |
| B              | L'nT,w    | 63dB      |
| C              | L'nT,w    | 78dB      |

*Fonte: Os autores, 2021*

*Tabela 5 - Classificação de Desempenho das Lajes (DnT,W)*

| Empreendimento | Parâmetro | Resultado |
|----------------|-----------|-----------|
| A              | DnT,W     | 46 dB     |
| B              | DnT,W     | 47 dB     |
| C              | DnT,W     | -         |

*Fonte: Os autores, 2021*

Importante salientar que, para o empreendimento "C", onde foi executada a laje pré-moldada em isopor (E.P.S), não foi realizado o teste de som aéreo entre pisos (DnT,W).

## 5.2. COMPARATIVO DE CUSTOS

Para desenvolvimento do comparativo de custos, foram analisadas composições de preço contemplando fornecimento de material e mão de obra, para a execução dos três tipos de laje em estudo, que foram fornecidas pelas construtoras responsáveis pelos empreendimentos. Tendo em vista que as obras foram executas em épocas distintas, os valores unitários foram adaptados à atualidade, através de cotações e valores referenciados na tabela SINAPI (2021), conforme tabela abaixo:

- **Empreendimento "A"** – Laje pré-moldada em concreto armado, Espessura: 09 cm, Fck: 25 MPa

*Tabela 6 – Composição de Preço unitário: Laje pré-moldada em concreto armado*

| DESCRIÇÃO                                                              | UNID           | QUANT | VAL.UND<br>(R\$) | TOTAL<br>(R\$) |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------|------------------|----------------|
| FORMAS PARA LAJE, VIGAS E PILARES                                      | M <sup>2</sup> | 1     | 45,70            | 45,70          |
| ARMAÇÃO (30KG/M <sup>2</sup> ) CA-50 - BITOLA MÉDIA 10MM - PERDA 3%    | KG             | 30    | 4,63             | 138,90         |
| CONCRETO FCK 25 MPA BOMBEADO - PERDA 7%                                | M <sup>3</sup> | 0,09  | 319,79           | 28,78          |
| GUINDASTE PARA IÇAMENTO DE LAJE INCLUSO MÃO DE OBRA E COMBUSTÍVEL      | H              | 1     | 119,00           | 119,00         |
| EXECUÇÃO DE CONTRAPISO (AREIA/CIMENTO (4;1) - MATERIAL E MDO           | M <sup>2</sup> | 1     | 18,50            | 18,50          |
| INSTALAÇÃO DE PISO LAMINADO CONTENDO: APLICAÇÃO DE MANTA E MÃO DE OBRA | M3             | 1     | 48,33            | 48,33          |
| AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                    | H              | 1     | 16,84            | 16,84          |
| CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                      | H              | 0,5   | 21,87            | 10,93          |
| PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                   | H              | 2     | 14,20            | 28,40          |
| SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                   | H              | 2     | 7,89             | 15,78          |
| ARMADOR DE FERRAGENS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                       | H              | 1     | 9,45             | 9,45           |
|                                                                        |                |       | <b>TOTAL:</b>    | <b>480,62</b>  |

*Fonte: SINAPI, 2021 (adaptado)*

- **Empreendimento “B”** – Laje em concreto armado, Espessura: 10cm, Fck: 25 MPa

Tabela 7 – Composição de Preço unitário: Laje em concreto armado

| DESCRIÇÃO                                                                                                                                                                                  | UNID | QUANT | VAL.UND<br>(R\$) | TOTAL<br>(R\$) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------------------|----------------|
| CONCRETAGEM DE VIGAS E LAJES, FCK=25 MPA, PARA LAJES PREMOLDADAS COM USO DE BOMBA EM EDIFICAÇÃO COM ÁREA MÉDIA DE LAJES MAIOR QUE 20 M² - LANÇAMENTO, ADENSAMENTO E ACABAMENTO. AF_12/2015 | M3   | 0,1   | 430,15           | 43,02          |
| INSTALAÇÃO DE PISO LAMINADO CONTENDO: APLICAÇÃO DE MANTA E MÃO DE OBRA                                                                                                                     | M2   | 1     | 48,33            | 48,33          |
| ELETRODUTO FLEXÍVEL CORRUGADO, PVC, DN 32 MM (1"), PARA CIRCUITOS TERMINAIS, INSTALADO EM FORRO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015                                                    | M    | 1     | 10,40            | 10,40          |
| ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 10,0 MM - MONTAGEM. AF_12/2015                             | KG   | 9     | 14,43            | 129,87         |
| FABRICAÇÃO DE FÔRMA PARA VIGAS, EM CHAPA DE MADEIRA COMPENSADA PLASTIFICADA, E = 18 MM. AF_09/2020                                                                                         | M²   | 1     | 145,32           | 145,32         |
| ESCORAMENTO DE FÔRMAS DE LAJE EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PÉ-DIREITO SIMPLES, INCLUSO TRAVAMENTO, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020                                                                 | M²   | 1     | 16,81            | 16,81          |
| PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                                                       | H    | 1     | 14,20            | 14,20          |
| SERVEnte COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                                                       | H    | 1     | 7,89             | 7,89           |
| AUXILIAR DE ELETRICISTA COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                                        | H    | 1     | 16,84            | 16,84          |
| CARPINTEIRO DE FORMAS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                                          | H    | 1     | 21,87            | 21,87          |
| ARMADOR DE FERRAGENS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                                           | H    | 1     | 9,45             | 9,45           |
|                                                                                                                                                                                            |      |       | <b>TOTAL:</b>    | <b>463,99</b>  |

Fonte: SINAPI, 2021 (adaptado)

- **Empreendimento “C”** – Laje pré-moldada em Isopor (E.P.S), Espessura: 15 cm, Fck: 25 MPa

Tabela 8 – Composição de Preço unitário: Laje pré-moldada em concreto armado

| DESCRIÇÃO                                                                                                                                                   | UNID | QUANT | VAL.UND<br>(R\$) | TOTAL<br>(R\$) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------|------------------|----------------|
| LAJE PRÉ-MOLDADA UNIDIRECIONAL, BIAPOIADA, PARA PISO, ENCHIMENTO EM ISOPOR, VIGOTA CONVENCIONAL, ALTURA TOTAL DA LAJE (ENCHIMENTO+CAPA) = (8+7). AF_11/2020 | M2   | 1     | 210,76           | 210,76         |

|                                                                                                                                                               |                |   |               |               |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|---|---------------|---------------|
| REVESTIMENTO CERÂMICO PARA PISO COM PLACAS TIPO ESMALTADA EXTRA DE DIMENSÕES 60X60 CM APLICADA EM AMBIENTES DE ÁREA ENTRE 5 M2 E 10 M2. AF_06/2014            | M2             | 1 | 65,90         | 65,90         |
| ELETRODUTO FLEXÍVEL CORRUGADO, PVC, DN 32 MM (1"), PARA CIRCUITOS TERMINAIS, INSTALADO EM FORRO - FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO. AF_12/2015                       | M              | 1 | 10,40         | 10,40         |
| ARMAÇÃO DE LAJE DE UMA ESTRUTURA CONVENCIONAL DE CONCRETO ARMADO EM UM EDIFÍCIO DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS UTILIZANDO AÇO CA-50 DE 6,3 MM - MONTAGEM. AF_12/2015 | KG             | 1 | 16,12         | 16,12         |
| ESCORAMENTO DE FÔRMAS DE LAJE EM MADEIRA NÃO APARELHADA, PÉ-DIREITO SIMPLES, INCLUSO TRAVAMENTO, 4 UTILIZAÇÕES. AF_09/2020                                    | M <sup>2</sup> | 1 | 4,50          | 4,50          |
| PEDREIRO COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                          | H              | 2 | 14,20         | 28,40         |
| SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                                          | H              | 2 | 7,89          | 15,78         |
| ARMADOR DE FERRAGENS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES                                                                                                              | H              | 1 | 9,45          | 9,45          |
|                                                                                                                                                               |                |   | <b>TOTAL:</b> | <b>361,31</b> |

Fonte: SINAPI, 2021 (adaptado)

## 6. RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos pelos ensaios de desempenho acústico realizados pelos laboratórios e das composições de custos adaptadas pelos autores, foi elaborada uma tabela comparativa:

Tabela 9 – Análise De Desempenho Acústico e de Custo

| EMPREENHIMENTO                             | A                                                                | B                                                      | C                                                                |
|--------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| TIPO DE LAJE                               | Laje Pré-moldada Concreto Armado Espessura: 09 cm<br>Fck: 25 MPa | Laje em Concreto Armado Espessura: 10cm<br>Fck: 25 Mpa | Laje Pré-moldada - Isopor (E.P.S) Espessura: 15 cm<br>Fck: 25Mpa |
| PARÂMETROS L'Nt,W                          | 62dB                                                             | 63dB                                                   | 78dB                                                             |
| PARÂMETROS DnT,W                           | 46dB                                                             | 47dB                                                   | -                                                                |
| CLASSIFICAÇÃO DE DESEMPENHO (L'Nt,W/DnT,W) | INTERMEDIÁRIO/MÍNIMO                                             | INTERMEDIÁRIO/MÍNIMO                                   | MÍNIMO/ N/A                                                      |
| CUSTO/M <sup>2</sup>                       | R\$ 480,62                                                       | R\$ 464,00                                             | R\$ 361,31                                                       |

Fonte: Os autores, 2021

Tendo em vista que os valores obtidos para as medições de ruído de impacto entre pisos (L'nT,W) são inversamente proporcionais ao nível de desempenho acústico, e para as medições de som aéreo entre pisos (DnT,W) os valores são diretamente proporcionais, pode-se observar que o Empreendimento "A", no qual foi executada a

laje pré-moldada de concreto armado, obteve os melhores resultados para ambos parâmetros, e apresentou o maior custo de execução por m<sup>2</sup>.

Já empreendimento “B”, onde foi executada a laje em concreto armado, os resultados para os testes de desempenho acústico foram semelhantes aos do empreendimento “A”, com o custo por metro quadrado de produção aproximadamente 3,5% menor.

Por fim, o empreendimento “C”, no qual foi executada a laje pré-moldada em isopor (E.P.S), se obteve o custo de produção por m<sup>2</sup> mais econômico, no entanto apresentou o menor desempenho acústico para o critério de ruído de impacto entre pisos, neste empreendimento não foi realizado o ensaio de som aéreo entre pisos, impossibilitando a análise deste parâmetro.

No que tange aos resultados dos testes, todas as lajes apresentaram valores dentro do limite estipulado pela norma ( $L'_{nT,W} \leq 80\text{Db}$  e  $D_{nT,W} \geq 45\text{dB}$ ).

## **7. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Tomando por referência o empreendimento “A”, por ter apresentado os melhores resultados nos parâmetros de desempenho acústico e maior custo de execução por m<sup>2</sup>, observamos que:

O sistema de piso do empreendimento “B”, no qual foi executada a laje em concreto armado, possui um custo de produção por m<sup>2</sup> inferior em 3,46%, e uma defasagem nos valores dos testes de 1,61%, apresentando a mesma classificação para ambos parâmetros.

No quesito “produção por m<sup>2</sup>”, a laje pré-moldada em E.P.S (empreendimento “C”) apresentou custo 24,82% menor em relação ao empreendimento “A” (Laje Pré-moldada concreto armado), e 22,13% menor que o empreendimento “B”, em contrapartida, seu desempenho acústico foi inferior para o parâmetro  $L'_{nT,W}$ , sendo classificado como mínimo.

Através dos resultados obtidos por meio comparativo é possível especificar que:

- Laje Pré-moldada concreto armado: Melhor desempenho acústico e maior custo

executivo;

- Laje Concreto armado: Intermediário desempenho acústico e custo executivo;
- Laje pré-moldada - Isopor (E.P.S): Pior desempenho acústico e menor custo executivo.

Apesar de seu baixo custo por m<sup>2</sup> de execução, a laje pré-moldada em isopor (E.P.S) – Empreendimento “C” apresentou valores próximos ao limite estipulado pela norma NBR15575:2013, além de apenas um dos parâmetros ter sido medido (L’nT,W). Diante disso, conclui-se que a laje em concreto armado – Empreendimento “B” apresenta o melhor custo x benefício, definição que é justificada pelo seu desempenho acústico intermediário e seu custo por m<sup>2</sup> de execução consideravelmente menor que a laje pré-moldada em concreto armado – Empreendimento “A”.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORGES, J. U. **Critérios de projeto de lajes nervuradas com vigotas pré-fabricadas**. Dissertação de mestrado, USP, São Paulo, 1997.

CARVALHO, Régio Paniago. **Acústica arquitetônica**. Brasília: Thesaurus, 2006.

CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L. M. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado** – Volume 2. São Paulo: Pini, 2009.

GOMES, MAGALHÃES. **Ensaio acústico para Nível de Pressão Sonora de Impacto Padronizado Ponderado: Residencial Veneza**. Relatório De Ensaio, Vespasiano - MG, p. 1-19, Ago. 2018.

HALL, R. **Impact sound insulation of flooring systems with polyurethane foam on concrete floors**. 1999. 314 f. Tese (Ph.D).

LABORATÓRIO, CONSULTARE. **NBR 15575-3:2013 Edificações Habitacionais Desempenho Acústico – Sistemas De Pisos: Residencial Luxemburgo**. Relatório De Ensaio Nº. 21.0106\_R00, Vespasiano - MG, p. 1-13, Abr. 2021.

LAJES JUNDIAÍ. **Laje Treliçada Isopor**. 2015. Disponível em: <http://www.lajesjundiai.com.br/produtos/laje-trelicada-isopor>. Acesso em: 03 nov. 2021.

MELO, C. E. E. **Manual Munte de projetos pré-fabricados de concreto**. 2. ed. São Paulo: Pini, 2007.

MORAES, RAFAEL. **Análise de Desempenho Acústico de sistema de contrapiso flutuante com manta de isolamento acústico**. 2019. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Civil) - Prof. Dr. Dimas Alan Strauss Rambo, São Paulo, 2019.

NBR 15575, **Desempenho de edificações habitacionais**. ABNT, 2013.

NBR 6118, **Projeto de estruturas de concreto — Procedimento**. ABNT, 2014.

ORAL, Gül Koçlar; YENER, Alpin Köknel; BAYAZIT, Nurgün Tamer. **Building envelope design with the objective to ensure thermal, visual and acoustic comfort conditions. Building and Environment**, v. 39, n. 3, p. 281-287, 2004.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**: guia prático sobre cada uma das partes relacionadas à área de acústica nas edificações da norma ABNT NBR15575:2013 edificações habitacionais - desempenho. Indianópolis, Rush Gráfica e Editora Ltda, 2013.

SILVA, Jamiro Godinho da; MOURA, Márcio Luiz de; JÚNIOR, Dejanir José CAMPOS. **Análise Técnica De Lajes Maciças Pré-Moldadas Do Tipo Içada Aplicadas Em Edificações De Múltiplos Pavimentos**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 10, n. 1, p. 369-383, 2012.

TEIXEIRA, C. A.; MARTINELLI, R. B.; GUIMARÃES, R. J. **Análise do Processo Construtivo com laje içada**. VI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Ponta Grossa, PR, p. 1-12, 2 dez. 2016.

TUTIKIAN, Bernardo Fonseca et al. **Uso de agregado leve de EVA em contrapiso argamassado para isolamento ao ruído de impacto em edificações residenciais**. Ambiente Construído, [s. l.], v. 17, n. 3, p. 295–306, 2017.