

UNIEVANGÉLICA

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRYELLA BASIL DE SOUZA

LARISSA MARTINS PATRICIO MODESTO

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE COBERTURAS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

ANÁPOLIS / GO

2020

GABRYELLA BASIL DE SOUZA
LARISSA MARTINS PATRICIO MODESTO

DESEMPENHO ACÚSTICO DE COBERTURAS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL

Trabalho de conclusão de curso,
submetido ao curso de engenharia civil da
Unievangélica.

ORIENTADOR: DOUTOR LEANDRO DANIEL PORFIRO

ANÁPOLIS / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

SOUZA, GABRYELLA BASIL/ MODESTO, LARISSA MARTINS PATRICIO

Desempenho acústico de cobertura/forros na construção civil.

TCC - UniEvangélica

Curso de Engenharia Civil.

1. Som
 2. Ruído
- I. ENC/UNI

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SOUZA, Gabryella Basil; MODESTO, Larissa Martins Patricio. Desempenho acústico de coberturas/forros na construção civil. TCC, Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO. 60p. 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DO AUTOR: Gabryella Basil de Souza

Larissa Martins Patricio Modesto

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Desempenho acústico de coberturas/forros na construção civil.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Gabryella Basil de Souza
E-mail: gabyvps@hotmail.com

Larissa Martins Patricio Modesto
E-mail: larissamartins0830@outlook.com

GABRYELLA BASIL DE SOUZA
LARISSA MARTINS PATRICIO MODESTO

**DESEMPENHO ACÚSTICO DE COBERTURAS NA
CONSTRUÇÃO CIVIL**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL**

APROVADO POR:

LEANDRO DANIEL PORFIRO, Doutor (UniEVANGÉLICA)
(ORIENTADOR)

AURELIO CAETANO FELICIANO, Especialista (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (UniEVANGÉLICA)
(EXAMINADOR INTERNO)

DATA: ANÁPOLIS/GO, de 2020.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, pois sem ele nada disso estaria sendo realizado, pelas vezes que pensei em desistir e foi nele que busquei forças para continuar. Agradeço também ao meus pais que sempre me apoiaram, incentivando meus estudo e que puderam me proporcionar essa jornada, é com muita emoção e gratidão que agradeço a minha avó Divina que sempre me incentivo a estudar, e em acreditar que eu era capas, infelizmente no começo dessa jornada ela partiu, mais sei que estará sempre comigo, vendo esse sonho se tornar realidade. E não poderia me esquecer de pessoas que fazem parte também desta jornada, e do apoio deles meus amigos de algumas datas e os que fiz ao logo desses cinco anos, a Larissa Martins por estamos realizando esses parceria, e ao professor Leandro Daniel por esta conosco nesse projeto.

Gabryella Basil de Souza

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado sabedoria, força e persistência para chegar até aqui e sempre ter me abençoado durante as minhas conquistas. Aos meus pais, por serem o meu alicerce, por ter me apoiado em todas minhas decisões e não deixando nunca desistir dos meus objetivos por mais difícil que seria. A minha dupla Gabryella Basil, por estar sempre comigo me dando força e energia positiva e ao nosso orientador Leandro que esteve sempre junto nos ajudando e nos guiando em todo esse trabalho.

Larissa Martins Patricio Modesto

RESUMO

Com o crescimento desordenado das cidades e o acúmulo mais concentrado de pessoas em determinados espaços por conta de trabalho ou moradia, tornaram a vida moderna mais agitada, complexa e barulhenta. A engenharia tem estudado melhorias para que possa isolar sons e ruídos entre o meio externo e interno, e a melhora de materiais com componentes que possam agregar outro material para que se consiga abaixar o índice de sonorização, assim melhorando o conforto e saúde das pessoas. Algumas normas foram criadas para que haja melhora no conforto acústico nas construções. Baseados nessas normas, neste trabalho foram realizados ensaios experimentais para que identificar quais tipos de forro/cobertura é o mais eficiente para inibir os ruídos causados fora do ambiente em questão. De acordo com estes ensaios, a cobertura de fibrocimento alcançou melhor desempenho, enquanto a cobertura de telha colonial foi a que teve o menor desempenho em relação as outras.

PALAVRAS-CHAVE: Acústica. Som. Ruído. Isolamento acústico. Cobertura.

ABSTRACT

With the disorderly growth of cities and the more concentrated accumulation of people in certain spaces because of work or housing, they have made modern life more hectic, complex and noisy. The engineering has studied improvements so that it can isolate sounds and noises between the external and internal environment, and the improvement of materials with components that can aggregate other material so that the sound index can be lowered, thus improving the comfort and health of people. Some standards have been created to improve the acoustic comfort of buildings. Based on these standards, this work has been performed experimental trials to identify which types of lining/cover is the most efficient to inhibit noise caused outside the environment in question. According to these tests.

KEYWORDS:

Acoustics. Sound. Noise. Acoustic isolation. Reverberation. Reflection. Diffraction.
Construction Civil. Frequency. Decibel. Hertz. Decibelimeter. Materials. Roof.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Difração	15
Figura 2 - Refração	16
Figura 3 - Reflexão	16
Figura 4 - Reverberação	17
Figura 5 - Decibelímetro.....	18
Figura 6 - Esquematização da transmissão de energia sonora entre os meios	24
Figura 7 - Esquematização de um telhado simples.....	25
Figura 8 - Telha Cerâmica	26
Figura 9 - Telha Isotérmica	27
Figura 10 - Telhas Metálicas	28
Figura 11 - Forro de PVC	29
Figura 12 - Forro de madeira (tarugamento)	30
Figura 13 - Tipos de gesso acartonado	31
Figura 14 - Caixa Acústica	32
Figura 15 - Caixa acústica revestida com caixa de ovo.....	33
Figura 16 - Caixa acústica revestida com caixa de ovo e espuma.....	34
Figura 17 - Telha Cerâmica	35
Figura 18 - Telha cerâmica + forro termo painel	35
Figura 19 - Telha cerâmica + forro gesso acartonado	36
Figura 20 - Telhado cerâmico + forro PVC.....	36
Figura 21 - Telha termoacústica	37
Figura 22 - Telha termoacústica + forro termoacústico	37
Figura 23 - Telha termoacústica + forro gesso acartonado	38
Figura 24 - Telha termoacústica + forro PVC	38
Figura 25 - Telha metálica.....	38
Figura 26 - Telha metálica + forro termoacústico	39
Figura 27 - Telha metálica + forro gesso acartonado	39
Figura 28 - Telhado metálico + forro PVC	40
Figura 29 - Telha fibrocimento.....	40
Figura 30 - Telha fibrocimento + forro termoacústico	40
Figura 31 - Telha fibrocimento + forro gesso acartonado	41
Figura 32 - Telhado fibrocimento + forro PVC.....	41

Figura 33 - Gráfico de comparação entre telhas.....	45
Figura 34 - Gráfico de comparação entre telhas + termopanel	46
Figura 35 - Comparação de telhas + gesso	47
Figura 36 - Comparação de telhas + PVC	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Tipos de sons pela NBR 16313:2014	12
Tabela 2 - Classificação das Ondas	14
Tabela 3 - Velocidade de propagação do som em alguns materiais	15
Tabela 4 - Níveis de ruídos aceitáveis	19
Tabela 5 - Coeficientes de absorção	23
Tabela 6 - Resultados da telha termoacústica.....	42
Tabela 7 - Resultados da telha metálica	43
Tabela 8 - Resultados da telha fibrocimento	44
Tabela 9 - Resultados da telha cerâmica	44

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 01 – Frequência (f)	08
Equação 02 – Velocidade (v)	09
Equação 03 – Decibel (i)	13
Equação 04 – Coeficiente de absorção acústica (a)	16

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
D	Diferença de Nível
DB	Decibéis
EPS	Poliestireno expandido
F	Frequência
HZ	Hertz
NBR	Abreviação adotada pela ABNT
OMS	Organização Mundial da Saúde
PIR	Polisocianurato
PUR	Poliuretano
PT	Perda de Transmissão
RF	Resistente ao fogo
RU	Resistente a umidade
ST	Standard

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 OBJETIVOS	9
1.1.1 Objetivo geral	9
1.1.2 Objetivos específicos.....	9
1.2 METODOLOGIA	9
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 ACÚSTICA: CONCEITOS E FUNDAMENTOS	11
2.2 O SOM	12
2.3 Fundamentos de física relacionados à ondas mecânicas.....	15
2.4 O RUÍDO	17
3 ACÚSTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	21
3.1 ABSORÇÃO ACÚSTICA	21
4 Telhados.....	24
4.1 TIPOS DE TELHAS	25
4.1.1 Telha Cerâmica.....	25
4.1.2 Telha Sanduiche & Telha Isotérmica	26
4.1.3 Telha Fibrocimento	27
4.1.4 Telha Metálica.....	27
5 FORROS.....	29
5.1 tipos de forros.....	29
5.1.1 FORRO DE PVC.....	29
5.1.2 FORRO DE MADEIRA.....	30
5.1.3 FORRO DE GESSO ACARTONADO.....	30
6 MATERIAIS E MÉTODOS	32
• Primeiro teste: Telha colonial.....	35
A) Telha colonial + forro termoacústico	35
B) Telha colonial + forro gesso acartonado	36
C) Telha colonial + forro PVC.....	36
• Segundo teste: Telha termoacústica.....	37
A) Telha termoacústica + forro termoacústico.....	37

B) Telha termoacústica + forro gesso acartonado.....	38
C) Telha termoacústica + forro PVC	38
• Terceiro teste: Telha metálica	38
A) Telha metálica + forro termoacústico	39
B) Telha metálica + forro gesso acartonado	39
C) Telha metálica + forro PVC	40
• Quarto teste: Telha fibrocimento	40
A) Telha fibrocimento +forro termoacústico	40
B) Telha fibrocimento +forro gesso acartonado	41
C) Telha fibrocimento +forro PVC	41
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	42
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS	48
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

Devido ao crescimento desordenado, no meio urbano, diversas situações (de barulho em excesso) e outros incômodos sonoros têm interferido no comportamento social. Muitos são os estudos relacionados à acústica na construção civil, preocupados com a comodidade e conforto das pessoas no interior de suas moradias, ambiente de trabalho, escolas, teatros, igrejas, cinemas, hospitais, entre outros. Um ambiente com acústica desconfortável e desordenada, não causa somente cansaço físico ou o desosssego, mas pode causar também transtornos de saúde.

Muitos projetos são elaborados sem levar em consideração a acústica do ambiente, não permitindo assegurar a qualidade sonora, e muitas vezes são direcionados apenas para o aspecto da estética e otimização do espaço.

O crescente número de reclamações sobre o barulho causado, em edificações verticais, por exemplo, vem aumentando frequentemente. Algumas vezes, as pessoas dizem ter se ‘acostumado’ com tais ruídos próximos às suas residências e locais de trabalho, quando na realidade estão sofrendo perda de sua sensibilidade auditiva. (CARVALHO, 2010).

É fundamental pensar no conforto acústico quando o projeto ainda está sendo estudado, do que optar em fazer mudanças depois que estiver executado, dificultando mais a inclusão dos requisitos presentes na norma NBR 15573:2013 – Edificações habitacionais – Desempenho.

Neste sentido, este trabalho discutirá sobre as melhorias que a construção civil tem implementado para diminuir as situações de desconforto acústico. Explicando como funciona cada elemento que compõe um sistema sonoro, transmissor, receptor, difusor, elementos de absorção e propagação. Além, de mostrar através de ensaios experimentais, o nível sonoro ao qual as pessoas são submetidas.

Nas últimas décadas, houve um aumento significativo da intensidade sonora nos centros urbanos relacionados ao aumento da densidade demográfica e consequente utilização de tecnologias.

Alguns materiais empregados na construção civil já apresentam uma determinada porcentagem de isolamento, como: concreto armado, blocos cerâmicos e de concreto. Portanto nem sempre são suficientes para aplicação dependendo se o grau de atenuação deve ser elevado.

Os municípios têm se organizado e estabelecido políticas (leis) que regulamentem as atividades que geram barulho tanto em áreas urbanas quanto rurais.

Compreende-se que este estudo, se justifica porque promove a discussão a respeito do conforto acústico do ambiente e possibilidades de implementação de novas técnicas, buscando uma melhoria na qualidade de vida das pessoas em seus lares, ambiente de trabalho e em outros ambientes.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Medir e comparar o desempenho acústico de alguns tipos de coberturas utilizados na construção civil.

1.1.2 Objetivos específicos

- Discutir os conceitos relacionados à Física Acústica e os diversos tipos de coberturas utilizados na construção civil.
- Construir um sistema de ensaio experimental para a medição de ruído em coberturas.
- Medir e comparar a absorção de ruídos por coberturas.
- Propor alternativas para melhorar o desempenho acústico das coberturas.

1.2 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para esse estudo está baseada em pesquisa bibliográfica, leituras e estudos de artigos científicos, para composição do corpo teórico do trabalho. Para os ensaios experimentais sobre absorção de som, serão realizados ensaios acústicos através de experimentos, utilizando uma caixa acústica, que será construída, onde suas partes internas serão revestidas com material isolante, deixando sua face superior para que sejam colocados os materiais que deverão ser ensaiados, como cobertura. Para isso utilizar-se um decibelímetro que captará os sons produzidos sobre a estrutura.

Serão testados diferentes tipos de coberturas e forros submetidos a algumas frequências que tentarão reproduzir situações frequentes do cotidiano, tais como: frequência ambiente (40 Hz), shoppings (50 Hz), banda de rock (120 Hz) e chuva (300 Hz). A caixa será feita de madeira mdf (placa de fibra de média densidade), material comum utilizado nas construções, forrada com caixas de ovos e espuma, materiais que podem ser utilizados para isolamentos de sons por conta da sua absorção e pouca reverberação.

Para delimitação das ações experimentais relacionadas à acústica, foram estabelecidos os limites do que é permitido e considerável para frequências comuns utilizadas no cotidiano. Ao final dos ensaios serão construídas tabelas para comparar e discutir cada situação testada, o que permitirá realizar análises comparativas e qualitativas dos materiais empregados.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

No primeiro capítulo trata-se da introdução, objetivo geral, objetivo específico e metodologia.

No segundo capítulo discute-se sobre as leis físicas envolvidas na área de acústica e conceitos relacionados como: absorção, reflexão, reverberação entre outros. Relacionando com os elementos utilizados na construção civil.

No terceiro capítulo discute-se sobre a acústica na construção civil.

No quarto capítulo discute-se sobre o telhado e alguns dos diversos tipos de telha.

No quinto capítulo discute-se sobre os tipos de forros.

No sexto capítulo discute-se os materiais e métodos da parte experimental do trabalho.

No sétimo capítulo discute-se os dados coletados através do ensaio comparando com as especificações dos fabricantes dos produtos ensaiados.

Na última parte que será o oitavo capítulo, apresenta-se as considerações finais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ACÚSTICA: CONCEITOS E FUNDAMENTOS

O estudo sobre acústica vem se aprimorando desde a antiguidade, naquela época gregos e romanos foram aperfeiçoando as construções pelo o fato de que as apresentações e discussões políticas nos teatros só teriam entendimento sonoro, se estivesse bem próximo do palco. Apesar de todos esses problemas vivenciados, apenas no século XX que foi implantado os princípios fundamentais de acústica.

A maioria da população não está sabendo avaliar o seu conforto acústico, mas é cada vez mais notável a falta dele e por isso exige da população a procura frequente de utilizar ambientes acusticamente confortáveis.

Cerca de 1,1 bilhão de adolescentes e jovens adultos estão de perda auditiva devido ao uso inseguro de dispositivos de áudio pessoais, incluindo smartphones, e exposição a níveis prejudiciais de som em locais de entretenimento barulhentos, como boates, bares e eventos esportivos, de acordo com a OMS. A perda auditiva tem consequências potencialmente devastadoras para a saúde física e mental, educação e emprego. (WHO, traduzido)

Dados de estudos de países de média e alta renda analisados pela OMS indicam que, entre adolescentes e jovens adultos de 12 a 35 anos, quase 50% estão expostos níveis inseguros de som devido ao uso de dispositivos de áudio pessoais e cerca de 40% estão expostos a níveis potencialmente prejudiciais de som em locais de entretenimento. Níveis inseguros de sons podem ser, por exemplo, expostos a mais de 85 decibéis (dB) por oito horas ou 100 dB por 15 minutos. (WHO, traduzido)

Esse capítulo tem a esclarecer e mostrar mais sobre acústica, elementos que são, e fazem parte dessa composição. Enfatizando materiais usados na construção civil que pode ajudar em um bom isolamento, conforto para o ambiente independe do seu uso, local e das pessoas que compartilham o mesmo. Utilizando de meio experimental para comprovar com material é mais eficaz, testando sua capacidade de vedar e suavizar sons, ruídos, desconforto acústico. Junto a isso foi feito os testes de diversos materiais, com eles acompanhando normas que trata do assunto para melhor auxílio.

2.2 O SOM

A acústica é a parte da Física que estuda os fenômenos sonoros, entre eles a propagação do som, sua reflexão, absorção, reverberação entre outros. De acordo com Bistafa (2015, p.15) “o som é a sensação produzida no sistema auditivo; e ruído é um som indesejável.”

Gerges (2000, p.1) garante que o som está presente 100% na vida diária das pessoas e é representado em forma de música, ondas do mar, latido de cachorro, batida de porta, buzinas, canto de pássaros.

Com base em livros, autores como Carvalho (2010, p.52) diz que para se propagar o som é preciso algum meio de propagação (sólido, líquido ou gasoso). Concluindo que não é possível emitir o som no vazio ou vácuo.

A NBR 16313:2014 – Terminologia, específica a definição de onze tipos de sons. Como pode se ver na tabela 1.

Tabela 1: Tipos de sons pela NBR 16313:2014

Tipo de som	Definição
Som Aéreo	Se propaga pelo ar.
Som Total	Junção de diversas fontes sonoras em determinada situação.
Som Específico	Pode identificar a fonte de emissão.
Som Residual	Som remanescente do som total quando suprimido o som específico em alguma situação.
Som Intrusivo	Som que é alheio ao objeto de medição.
Som Intermitente	Possui a duração dos impulsos sonoros superior a 1s.
Som de Impacto	Pode ser relacionado com a ação da chuva em telhados.
Som Contínuo	È constante e não é o som intermitente nem o som impulsivo.
Som Flutuante	Variação no nível de pressão sonora durante o período de observação.
Som Tonal	Pode ser uma banda estreita ou uma única componente de frequência.

Fonte: NBR 16313:2014 - Terminologia (compilado pela autora)

O som é toda vibração ou onda mecânica gerada por um corpo que emite vibração, percebível pela audição humana. Um exemplo é quando se golpeia um sino, o choque causado pelo golpe o faz badalar batendo de um lado e de outro, assim fazendo-o vibrar (ou gerando ondas mecânicas) que se propagam no meio, que dependendo da frequência é captada pelo ouvido, e dependendo da distância e dos materiais pode se sentir em algum material que está mais próximo pequenos tremores. A partir da fonte dependendo do seu formato o som pode se

propagar em todas as direções. Essa propagação ocorre, geralmente, de maneira uniforme em todos os sentidos, entretanto pode haver maior concentração de energia em um determinado sentido variando o formato da onda e isso está relacionado ao material (espessura, formato, tipo) e ambiente, que são fatores importantes para a compreensão do comportamento do som nos e materiais e através deles. (Fundamentos da Acústica 2007)

Elementos que caracterizam o som:

- Frequência (f)

Número de ondas por segundo, ou seja, a frequência com que estes ciclos se sucedem na unidade de tempo, grandeza medida em hertz (Hz). A frequência varia de acordo com a fonte sonora. Quando o nível do som é alto, significa que a frequência é alta e som é classificado como um som agudo, já o nível baixo é chamado de som grave. (BRESSANE et al., 2010).

- Período (T)

É o menor intervalo de tempo para o qual o movimento oscilatório se repete. A relação entre a frequência e o período é dada pela equação 1.

$$f = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Onde:

(f) e a frequências expressa Hertz (Hz).

(T) e o período expresso em segundos (s).

Quando se exerce pressão, movimento, em um meio ou matéria são formadas ondas (oscilações mecânicas) que variam sua intensidade devidos alguns fatores como o tempo de repetição, que podem ter intervalos maiores ou menores, fato que interfere na qualidade da onda sonora.

As ondas podem ser classificadas quanto às frequências (Tabela 2):

Tabela 2 - Classificação das Ondas

Infrassons	Abaixo de 20Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano
Baixas frequências	De 20 a 200Hz	Sons graves
Media frequências	De 200 a 2.000Hz	Sons médios
Alta frequências	De 2.000 a 20.000Hz	Sons médios
Ultrassons	Acima de 20.000Hz	Não perceptíveis ao ouvido humano

Fonte: Autora, 2020

- Amplitude (A)

É o valor máximo de variação de pressão atingido no período.

- Velocidade (V)

A velocidade de propagação do som é diretamente proporcional a densidade do meio, pois varia com a temperatura, umidade e obstáculos, mas não sobre interferência da pressão atmosférica, não varia com a frequência, e a intensidade (energia) do que o som chega ao receptor essa não altera a frequências do som. Ele e propagado no ar, água, ferro, vidro, tudo que pode gerar uma vibração. A velocidade pode ser calculada pela equação 2:

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (2)$$

- Comprimento de onda (λ)

É a distância entre duas cristas ou dois vales de uma onda, ou seja, distância do deslocamento da onda durante um ciclo de vibração.

Na tabela 3, pode-se observar a intensidade da velocidade da onda sonora ao se propagar em alguns materiais

Tabela 3 - Velocidade de propagação do som em alguns materiais

Meio de propagação	Valor em m/s
Aço	4.700 a 5.100
Água	1.460
Alumínio	5.200
Ar	340
Concreto	4.000
Madeira	1.000 a 5.000
Tijolo	3.700
Vidro	5.000 6.000
Zinco	3.400

Fonte: SIMOES (2001, p 14)

Além desses aspectos discutidos sobre as características das ondas mecânicas é necessário abordar os fenômenos que envolvem a propagação dessas ondas.

2.3 FUNAMENTOS DE FÍSICA RELACIONADOS À ONDAS MECÂNICAS

As ondas ao se propagarem e interagirem com um meio podem sofrer diversos fenômenos, entre os quais destacam-se para este trabalho a difração, a refração, a reflexão e a reverberação.

Difração é quando uma onda passa por uma borda de uma barreira ou atrás de uma fenda, buraco feito em algum ambiente (Figura 1). Pode-se dizer que é o som emitido de um ponto passar por essa situação, a um estreitamento para que possa atravessar e continuar para que chegue ao local desejado, passando nessa situação ela não é totalmente dissipada.

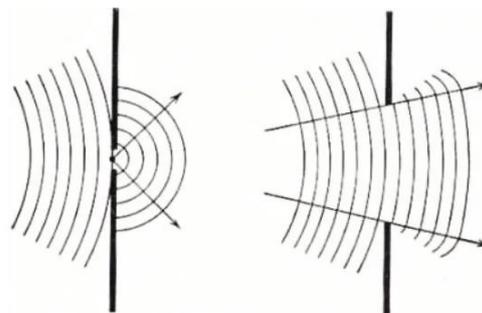


Figura 1 - Difração

Fonte: Blogdoenem

A refração ocorre quando as ondas sonoras encontram algum obstáculo e mudam de direção ao passar por ele (Figura 2). Quando o som atravessa um material ele sofre alteração em sua direção e velocidade.

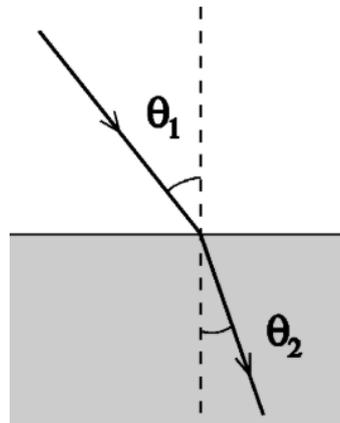


Figura 2 - Refração

Fonte: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

A reflexão conhecida pelo ato de refletir um objeto, uma onda mecânica, até mesmo imagem que é projetada contra uma superfície rígida, refletiva (ex.: espelho), que não absorve, assim esse algo bate e é direcionado novamente para trás, assim voltando-a de onde foi emitida. Dependendo de o anteparo ser reto, convexo, e côncavo pode ter variação no ângulo quando voltar, visto na figura 3.



Figura 3 - Reflexão

Fonte: Lusopatia (2012)

A reverberação consiste na prolongação, persistência de um som numa sala após o terminado a vibração da fonte, aplicado mais em locais fechado como salas e teatros. Um bom exemplo que pode ser um auditório, certamente nesses locais há um ponto onde fica um

transmissor e ao logo à sua frente encontra-se uma plateia, onde há vários elementos que podem dissipar o som até chegar na última fileira de cadeiras. Por causa da reverberação o som chega até os últimos lugares (Figura 4).

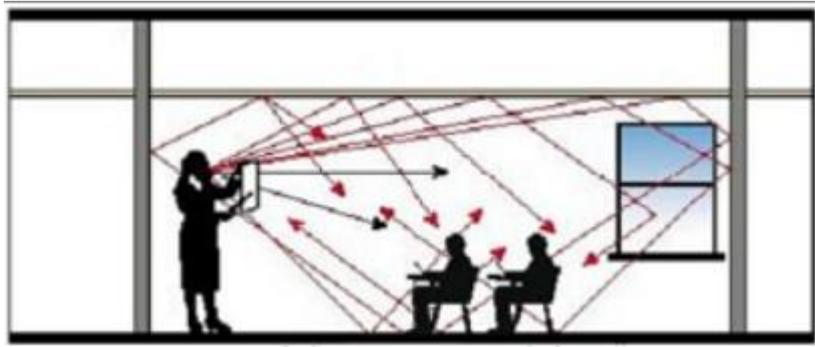


Figura 4 - Reverberação

Fonte: Qconcursos

A interação do som com o ambiente pode provocar também o ruído, que será discutido no próximo tópico.

2.4 O RUÍDO

É comum se dizer que o ruído é todo som que não é agradável aos nossos ouvidos, porém esse conceito é muito subjetivo, uma vez que o que é considerado ruído para algumas pessoas para outras podem não ser.

Tecnicamente o ruído é uma oscilação intermitente.” (CARVALHO,2010)

Há muito tempo o ruído é tema de estudos entre engenheiros, físicos e arquitetos, principalmente no seu efeito sobre a vida humana. Segundo Carvalho (2010), os ruídos trazem muitos malefícios como: problemas respiratórios, perda auditiva e em casos mais sérios podem afetar até a visão.

A engenharia divide o ruído em dois tipos: ruídos os aéreos, e ruídos de impacto.

- Ruídos aéreos são todos aqueles que são transmitidos através do ar, como a voz, buzina veículos, barulhos de automóveis, entre outros. Esses ruídos podem entrar pelas frestas de portas, janelas, ambientes que tenha algum espaço que não seja vedado.
- Ruídos de impacto são aqueles que são transmitidos por meio material, como o caminhar do vizinho sobre a laje de cima, o contato do passo dele se choca com o chão assim gerando uma vibração, dependendo do material da laje e sua estrutura pode ser mais

intenso o ruído, ou mais atenuado, temos também mais exemplo como queda de objetos, marteladas, o badalar do sino. O ruído de impacto tecnicamente endente-se são aqueles picos de energia acústica que tem duração inferior a 1 (um) segundo e intervalos superior a 1 (um) segundo. Já são mais difíceis de serem isolados, pois atrás de um impacto pode gerar mais de um ruído em locais distintos. (Eduardo Murgel, 2007)

O equipamento portátil usado para fazer a medição da intensidade sonora é o decímetro, como pode ser vista na figura 5. O decibel (dB) é a unidade de intensidade física relativa ao som. Para a medição de nível de ruídos utiliza-se o decibel unidade que equivale a décima parte de um bel, a equação que se usa contém logaritmo.



Figura 5 - Decibelímetro

Fonte: CARVALHO (2010, p 36)

A intensidade do ruído é dada pela equação 3:

$$i = 10 \times \log_{10} I/I_0 \quad (3)$$

onde:

i é a intensidade física relativa expressa em dB;

I é a intensidade física absoluta do mesmo som;

I_0 é a intensidade do som correspondente ao limiar da percepção ($I_0=10^{-16}\text{W/cm}^2$ para 1000Hz)

O nome decibel foi em homenagem a Alexander Graham Bell, inventor do telefone, foi utilizado por ele para fazer medições de perdas de linhas telefônicas.

Depende do ouvinte o que é som agradável ou incomodo, essa diferença entre os dois (som ou ruído) muitas vezes é subjetiva. Os ruídos podem interferir até quando o consumidor vai a loja fazer compras e até mesmo dentro das salas de aulas, quanto maior foi o nível sonoro presente menor será o nível de aprendizado dos alunos.

O ruído apesar de ser indesejável tem seu benefício, por exemplo a campanha para avisar que tem alguém na porta, o choro de criança para dizer que algo está acontecendo, a velocidade de carros, caminhões, entre outros. Assim sendo que a acústica não tem o foco em eliminar totalmente os sons desagradáveis, mas ter o controle do ruído.

O ouvido humano é sensível aos três níveis de frequências alto, médio e baixo, para cada indivíduo o sistema auditivo varia. A exposição de sons de alta intensidade por um tempo pode causar danos à saúde e até levar a perda da sensibilidade auditiva, para a melhor compreensão o ideal são níveis médio até para o melhor entendimento, os níveis baixos não são prejudiciais à saúde, porém dificultam o entendimento do ouvinte.

Os níveis de ruídos sonoros podem causar danos irreversíveis a saúde humana, pensando nisso a NBR 10152/1987 compôs uma tabela para indicar os decibéis corretos para cada ambiente em questão conforme a tabela 4.

Tabela 4 - Níveis de ruídos aceitáveis

Locais	dB(A)	NC
Hospitais		
Apartamentos, Enfermarias, Berçários, Centros cirúrgicos	35-45	30-40
Laboratórios, Áreas para uso do público	40-50	35-45
Serviços	45-55	40-50
Escolas		
Bibliotecas, Salas de música, Salas de desenho	35-45	30-40
Salas de aula, Laboratórios	40-50	35-45
Circulação	45-55	40-50
Hotéis		
Apartamentos	35-45	30-40
Restaurantes, Salas de Estar	40-50	35-45
Portaria, Recepção, Circulação	45-55	40-50
Residências		
Dormitórios	35-45	30-40
Salas de estar	40-50	35-45
Auditórios		
Salas de concertos, Teatros	30-40	25-30
Salas de conferências, Cinemas, Salas de uso múltiplo	35-45	30-35

(continuação)

Tabela 4 – Níveis de ruídos aceitáveis

		(conclusão)
Restaurantes	40 - 50	35 - 45
Escritórios		
Salas de reunião	30 - 40	25 - 35
Salas de gerência, Salas de projetos e de administração	35 - 45	30 - 40
Salas de computadores	45 - 65	40 - 60
Salas de mecanografia	50 - 60	45 - 55
Igrejas e Templos (Cultos meditativos)	40 - 50	35 - 45
Locais para esporte		
Pavilhões fechados para espetáculos e atividades esportivas	45 - 60	40 - 55

Fonte: NBR 10152 (1987, p 2)

Notas: a) O valor inferior de faixa representa o nível sonoro para conforto, enquanto o valor superior significa o nível sonoro aceitável para a finalidade.

b) Níveis superiores aos estabelecidos nestas tabelas são considerados de desconforto, em necessariamente implicar risco de dano à saúde.

3 ACÚSTICA NA CONSTRUÇÃO CIVIL

A acústica em ambientes internos (fechados) devem atender conforme seu objetivo de isolamento acústico, tais como: salas de aula, igrejas, teatros, cinemas, casa, escritório. Pode - se dizer que para ter uma boa acústica é necessário o isolamento acústico adequado, que se define pela redução da passagem de som de um compartimento para outro. Esse isolamento é determinado através de duas grandezas físicas: Perda de Transmissão (PT) e Diferença de Nível (D).

Para Gerges (1992, p.175), “a propagação do som é uma onda longitudinal, ou seja, a vibração provocada nas partículas de ar ocorre na mesma direção de propagação da onda”.

3.1 ABSORÇÃO ACÚSTICA

A norma NBR 16373/2015 define absorção acústica como capacidade que certos materiais têm em minimizar a reflexão das ondas sonoras em um mesmo ambiente, ou seja, diminuir ou eliminar o nível de reverberação.

Uma janela aberta é um absorvedor, o som que se passa pela janela não se reflete de volta. Em ambientes fechados, os principais materiais acústicos são aqueles que tem a finalidade de absorver o som. O material quanto mais fibras conter, melhor será a absorção acústica, e é válido ressaltar que quanto mais o material for denso menor será sua absorção.

Alguns materiais são utilizados para transformar a energia acústica em energia térmica, assim diminuindo o ruído do som que chega aos ouvidos.

Todo material apresenta sua capacidade de absorver o som, que é dada por meio das transformações de energia vibratória mecânica em energia térmica, ou seja, a dissipação da energia sonora ao incidir no material. (NAKAMURA,2006)

Gerges (1992) destaca que nos materiais porosos (espumas), a energia acústica que entra pelos poros se dissipa por reflexões múltiplas transformando-se em energia térmica. E materiais fibrosos (lã de vidro, lã de rocha, algodão, entre outros), a energia acústica que incide pelos interstícios das fibras, juntando-se com o ar é dissipada por atrito entre as fibras excitadas, transformando-se em energia térmica.

O coeficiente de absorção acústica pode ser calculado pela seguinte equação 04:

$$\alpha: \frac{\text{ENERGIA ABSORVIDA}}{\text{ENERGIA INCIDENTE}} \quad (4)$$

Quando uma onda sonora atinge um material, faz vibrar as fibras ou partículas do material absorvente. Assim, a espessura do material tem um grande impacto na qualidade de absorção de som pelo material.

Para a construção os materiais mais utilizados são os convencionais, como alvenaria, bloco cerâmico, bloco de concreto, madeira, vidro, telha cerâmica, entre outros. Com o tempo foi se adaptando e novos materiais entraram com mais frequência nas obras, como estruturas metálicas, painéis isotérmicos, telhas isotérmicas e *drywall* .

Esses materiais agilizam o processo da construção, porém em questão de conforto acústico alguns não são muito eficazes, causados pela falta do preparo e da finalidade dada no processo de execução. Alguns ambientes requerem um ambiente acústico eficiente como as igrejas, teatros, cinemas, estúdio de música, entre outros. Dependendo de qual material usado a sua densidade, componentes, porosidade, pode ajudar na perda desse conforto ou isolamento acústico, ou também, fazer a junção de materiais e conseguir uma resistência melhor na passagem de sons e ruídos.

Um exemplo seria a estrutura metálica (vigas e pilares expostos), que é um ótimo condutor para a propagação sonora, a alvenaria (paredes) já tem uma capacidade de absorver mais ruídos e menos propagação, portanto um ambiente onde a construção foi utilizada os dois materiais há um contraste no conforto acústico se não for dado o tratamento adequado.

Na construção civil, a edificação por completo já possui um isolamento acústica pelos seus materiais usados, como blocos de concretos, estruturas, coberturas. Porém esse isolamento é baixo, em casos onde necessita de ambientes mais silenciosos, por exemplo: cinema, teatro, sala de aula, studio de música; todo o projeto da edificação deve ser executado com base nas normas brasileiras sobre isolamento e absorção acústica.

Na tabela 5 é possível observar alguns coeficientes de absorção.

Tabela 5 - Coeficientes de absorção

Material	Espessura (cm)	Frequência (Hz)					
		125	250	500	1k	2k	4k
Lã de rocha	10	0,42	0,66	0,73	0,74	0,76	0,79
Lã de vidro	10	0,29	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85
Feltro	1,2	0,02	0,55	0,64	0,75	0,80	0,85
Placas de cortiça sobre concreto	0,5	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Tapete de lã	1,5	0,20	0,25	0,35	0,40	0,50	0,75
Reboco áspero, cal		0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,07
Concreto aparente		0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Parede de alvenaria		0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Vidro		0,18	0,06	0,04	0,03	0,03	0,02
Tapete 5 mm sobre feltro (5 mm)	1,0	0,07	0,21	0,57	0,66	0,81	0,72
Madeira compensada de 3 mm, a 50 mm da parede, espaço vazio	0,3	0,25	0,34	0,18	0,10	0,10	0,05
Chapa de papelão-gesso, de 9,5 mm, sem furos, na frente de espaço de 50 mm preenchido de lã mineral	14,5	0,33	0,12	0,08	0,07	0,06	0,10
Forro de gesso perfurado c/ manta de lã de vidro	2,0	0,68	0,90	0,78	0,65	0,50	0,45
Cortina de veludo		0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65

Fonte: Compilado pela autora

Existe uma diferença entre tratamento acústico e isolamento. Um ambiente com isolamento acústico se refere quando se tem um bloqueio total ou parcial dos sons que circulam no ambiente, assim tendo a função de barreira e não permitindo que vibrações sonoras internas ou externas passe com intensidade para outro ambiente, um exemplo são os cinemas. Já o tratamento acústico se refere quando um tipo de ambiente necessita de uma reverberação melhor, ou seja, que o som flua melhor quando emitido de um determinado ponto e possa chegar ao outro com um bom entendimento, exemplos disso são as igrejas, teatros, que tem suas paredes tratadas e composta por matérias e formas que ajudam a tornar mais agradável o ambiente.

Neste sentido, é importante destacar diversas características das coberturas (telha, forro, fibrocimento, etc).

4 TELHADOS

É chamado de telhado qualquer tipo de cobertura em uma edificação. Portanto, o nome telhado é apenas uma categoria de cobertura. Tem como função proteger o espaço interno do edifício de intempéries do ambiente, trazer mais privacidade, conforto (acústico e térmico) para os usuários, e proteção.

Moliterno (2011, p.1) diz que o telhado é composto por duas partes principais:

- Cobertura: Podendo ser de materiais diversos, desde que seja impermeável. A cobertura pode ser de telhas cerâmicas, telhas de concreto ou de chapas onduladas de fibrocimento, aço galvanizado, entre outros.
- Armação: É o conjunto de elementos estruturais para sustentação da cobertura.

Nas coberturas, a transmissão de som pode acontecer de forma estrutural, pois a estrutura está ligada diretamente ao resto da edificação, por ser um elemento que separa o ambiente interno e externo. Este elemento envolve o total de caminhos possíveis para a transmissão de som. Como é possível ver na figura 6:

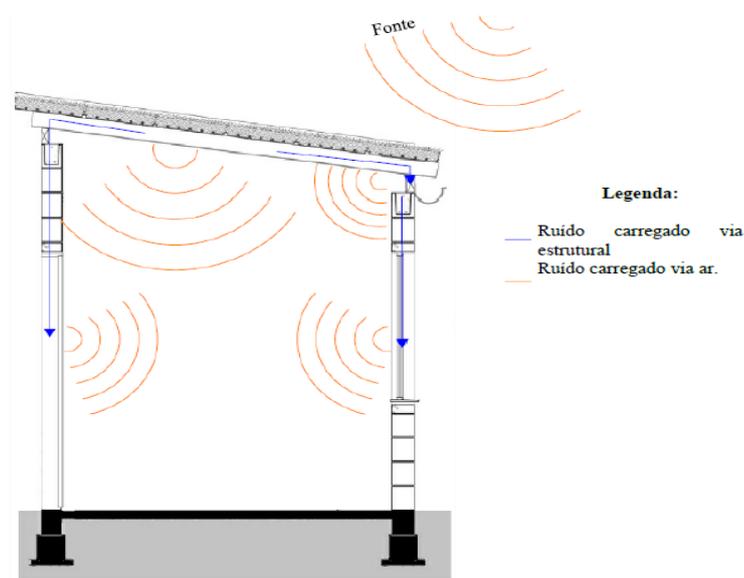


Figura 6 - Esquemática da transmissão de energia sonora entre os meios

Fonte: ANDRADE, 2016 p. 35

Existem dois tipos de estruturas de um telhado, estrutura metálica e estrutura de madeira. Comparando essas duas estruturas, a metálica se sobressai por ser mais ágil na construção e ter vantagem no engradamento metálico. A partir de sua estrutura vem um conjunto de partes que complementam a estrutura de um telhado (perna, terça, tirante, escora,

ripas, caibros, frechal, mão-francesa, pontalete, contrafrechal, pendural), conforme é mostrado na figura 7.

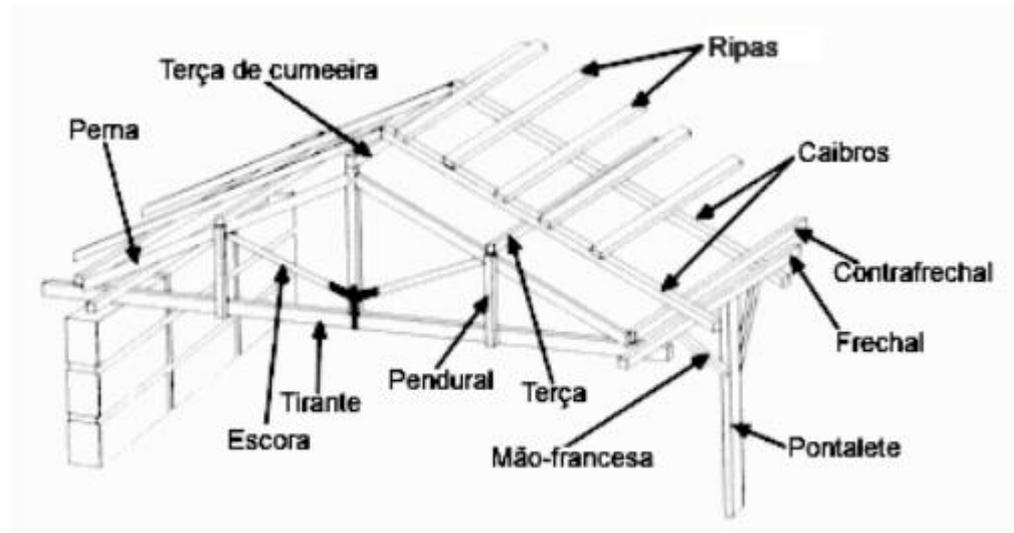


Figura 7 - Esquemática de um telhado simples

FONTE: TEGULA

Isso quer dizer que qualquer ruído provocado na estrutura pode se propagar por toda a estrutura.

4.1 TIPOS DE TELHAS

4.1.1 Telha Cerâmica

A telha cerâmica é considerada uma das primeiras formas de coberturas usuais utilizada nas construções mais modernas. Existe vários modelos e tamanhos, seu formato vem de lendas antigas e estudos históricos, diziam que os escravos fabricavam essas telhas para seus senhores poder cobrir suas residências, com o barro retirado de lugares mais úmidos argilosos, ou de buracos cavados em terreno, utilizando esse barro preparavam uma mistura umedecendo até chegar numa liga de massa, com essa massa pronta sentavam com as pernas estendidas e colocavam um pouco sobre a perna moldando em formato arredondado, depois do molde pronto levavam para as fornalhas até secar, assim ficando rígida para que utilizasse nas coberturas. Com o passar do tempo e o avanço de estudos, começaram a formalizar o procedimento e conhecer melhor como se dava a fabricação através do cozimento da argila, assim era moldado e levado para secar e depois cozida, transformando-a em cerâmica.

A questão de se utilizar em obra esse tipo de telha como vista na figura 8 é que se proporciona uma estética ao ambiente, trazendo um aspecto rústico, e uma telha que possui um bom isolamento termoacústico, facilitando a manutenção do calor dentro do espaço, assim como a contenção dos sons que podem vir do ambiente externo ou que vai sair do ambiente interno, sendo de fácil absorção de umidade isso deve ser considerado na hora de fazer sua escolha, ótima durabilidade, pouca mão de obra de reparo.



Figura 8 - Telha Cerâmica

Fonte: PEDREIRÃO.COM

4.1.2 Telha Sanduiche & Telha Isotérmica

Com a evolução das construções e dos materiais, surgiram novas formas de cobertura, como telha sanduiches e telhas isotérmicas. São telhas que está conquistando o mercado com a sua praticidade e capacidade de fácil instalação e tendo economia nos materiais que compõe a cobertura, e podem ser usadas também em fechamento de galpões. Esse tipo de telha pode ser encontrado em diversas composições, é utilizado para garantir um conforto térmico e acústico maior.

São telhas composta por um núcleo, podendo ser EPS (poliestireno estendido), PIR (poliuretano), PUR (poliisocianurato), lã de rocha. Recomendadas para obras que buscam conforto térmico, economia de energia pois há redução de investimento nos equipamentos de climatização, e utiliza menos estruturas por poder utilizar vãos maiores. Comparado com o isolamento acústico não é bom, pois é composta por chapas de aço, o material metálico tem

uma ótima condutividade de ondas sonoras produzindo mais ruídos internos e incomodando o indivíduo em tempos de chuvas. Na figura 9 é apresentado uma telha com o seu núcleo de PIR.



Figura 9 - Telha Isotérmica

Fonte: ISOESTE

4.1.3 Telha Fibrocimento

O fibrocimento é uma mistura de amianto, cimento e água sendo cerca de 90% é cimento e 10% é amianto, foi descoberto por Ludwig Hatschek. A telha de fibrocimento foi inserida ao mercado pela substituição das telhas feitas de ardósia. Suas características são: diversidade em tamanhos e espessuras, tem longa duração, pode ser pintada para melhorar o desempenho acústico e por estética, são resistentes as intempéries do ambiente, apresenta desempenho acústico e elevada resistência mecânica.

Existem normas técnicas para regulamentar o uso responsável do amianto. A NBR 5643 (MB1090) de 2012 – Telha de Fibrocimento – Verificação da resistência a cargas uniformemente distribuídas e a NBR 7581 de 2014 – Telha Ondulada de Fibrocimento.

Vale ressaltar que o amianto é um composto cimentício, de fibra natural, presente no solo de todo planeta e que pode causar danos graves a saúde dos trabalhadores da indústria de fibrocimento e construções civis, como: câncer e disfunção nas vias respiratórias. Podendo ser substituído por agregados minerais, vegetais e poliméricos.

4.1.4 Telha Metálica

As telhas metálicas (figura 10) podem ser classificadas, quanto á geometria da chapa, como, planas, onduladas, zipadas e trapezoidais, e quanto ao material, como, as telhas galvanizadas, pintadas, de alumínio e termoacústicas.

As dobras da chapa influenciam muito no momento de inércia fazendo com que as telhas trapezoidais têm mais vantagem comparada com as telhas onduladas. O momento de inércia da trapezoidal é mais elevado, por isso é mais vantajoso.

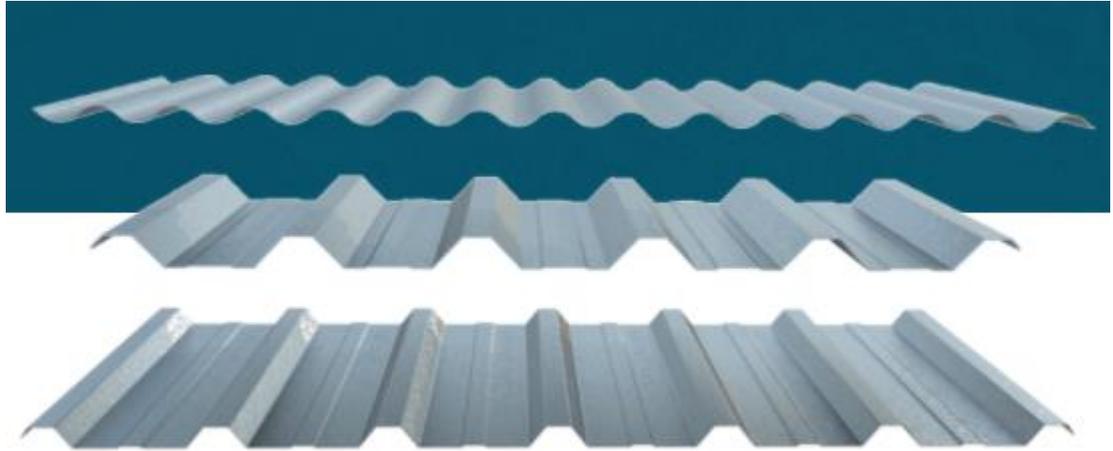


Figura 10 - Telhas Metálicas

Fonte: ISOESTE

É importante destacar que além de conhecer as características de alguns tipos de telhados é importante se conhecer também os tipos de forros que revestem os telhados, afim de compreender a importância da sua estrutura física que contribui para absorção ou não do som.

5 FORROS

Os forros têm como função revestir a face inferior de um telhado de qualquer edificação. Tendo como características a contribuição com o isolamento acústico e térmico, e também para proteção de ambientes para as pessoas. Geralmente são construídos por placas, chapas ou módulos, utilizando perfis de madeira ou aço, ou até mesmo suspensos.

De vários forros na construção civil, merecem atenção especial os forros de madeira ou de placas pré-fabricadas com dupla função: decorativa e de isolamento acústico e térmico. (MOLITERNO, 2011).

5.1 TIPOS DE FORROS

5.1.1 FORRO DE PVC

O forro PVC é feito de placas de PVC (figura 11) suspensas por uma estrutura feita de metalon ou então podendo ser de madeira. É uma montagem feita por encaixes e de método muito prático e rápido.

É a melhor opção quando se trata de economia, é relativamente mais barato do que os outros forros e suas vantagens são: fácil de fazer limpeza, tem resistência a umidade, durabilidade é grande, e rápido de instalar.



Figura 11 - Forro de PVC

Fonte: LEROYMERLIN

5.1.2 FORRO DE MADEIRA

O sistema do forro de madeira é muito parecido com o forro de PVC, são placas (tábuas) de madeira com encaixe macho e fêmea e é estruturado por tarugamento como visto na figura 12. Para construções de alto padrão (nobres), se usam as principais madeiras como: perobinha, pessegueiro, cerejeira, cedro, imbuia e ipê.

As vantagens de se ter o forro de madeira é que pode ser instalado em ambientes externos e internos, é atemporal, um forro clássico e aceita qualquer tipo de acabamento (verniz, tinta, entre outros).

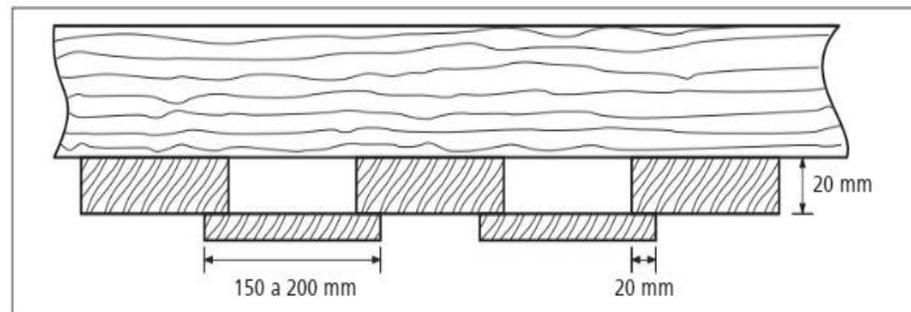


Figura 12 - Forro de madeira (tarugamento)

Fonte: (MOLITERNO,2011)

5.1.3 FORRO DE GESSO ACARTONADO

O gesso acartonado é a junção de chapas de gesso com juntas H e suspensas com tirantes (aço galvanizado). O gesso β é o mais procurado no mercado e é utilizado para rejunte de pré-moldados, tetos suspensos, para isolamento acústico e térmico quando misturado com vermiculita.

Existem três tipos de chapas de gessos acartonados: resistente a umidade (RU) também conhecido como chapa verde como o nome já sugere é utilizados em ambientes propícios a água e umidade, standard (ST) também conhecido como chapa cinza é indicado para ambientes internos, paredes e tetos, e resistente ao fogo (RF) também conhecido como chapa rosa é sugerido a usar em saídas de emergências, escadas e ambientes fechados.

Também pode ser usado como drywall, suas placas são maiores do que a do gesso convencional, podendo ser utilizados em vãos maiores, ganha vantagem em relação ao convencional pelo fato do gesso não ficar com uma coloração amarelada com o passar do

tempo, pode ser pintada ou ser revestida por outro material. Na figura 13 mostra os 3 tipos de chapas de gesso.



Figura 13 - Tipos de gesso acartonado

Fonte: DECORFACIL

6 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho realizou-se diversos ensaios experimentais para testar a absorção sonora de vários materiais, utilizados como cobertura (telhas e forros) em uma caixa acústica. Com o intuito de mostrar as possíveis combinações entre eles que ajudaria a proporcionar no conforto acústico para o ambiente, a partir do aporte teórico já discutido nos capítulos anteriores.

Matérias utilizado para os testes:

- 1 Caixa de MDF de 3m³
- Espuma expansiva de PU
- 54 caixas de ovo
- 5m de espuma (espuma para colchão) 30mm
- 48 telhas de cerâmica
- 4und de terça de madeira
- 1und de telha fibrocimento
- 1und de telha termo acústica 30mm aço filme
- 1und telha metálica
- 1m² de forro PVC
- 1m² de forro de gesso acartonado
- 1m² forro de painel isotérmico 50mm
- 1 caixa de som
- 2 decibelímetros digitais

Foi desenvolvido uma caixa com as dimensões de 1m x 1m x 1m (comprimento x largura x altura), com MDF de 15mm (Figura 14). A caixa contém uma tampa para que fossem realizadas medidas de som dentro da caixa isolada, para servirem de referência em termos de decibéis.



Figura 14 - Caixa Acústica

Fonte: Autoras,2020

O fato interessante ocorrido durante os ensaios quando realizados os primeiros testes com a caixa sem tratamento acústico, foi possível observar que estava ampliando o som na parte interna da caixa, ocorrendo o fenômeno de reverberação ao invés de isolar o som, devido as paredes da caixa não ter nenhum tipo de material para fazer a função do tratamento e isolamento acústico.

Para realizar a medição da intensidade sonora em dB, utilizou-se dois decibelímetros digitais, um posicionado dentro da caixa e outro na parte externa.

Depois de realizar o teste da caixa sem o tratamento acústico, revestimos ela com caixas de ovo (Figura 15) nas paredes, pregando-a em toda sua lateral e no fundo e colocando também espuma expansiva nos encontros das caixas. A caixa de ovo tem a função de ajudar a propagar o som de maneira que quando as ondas sonoras do ambiente se propague de maneira uniforme, assim conseguindo adquirir o tratamento acústico.

Neste ensaio o nível de decibéis não foi tão baixo como esperado.



Figura 15 - Caixa acústica revestida com caixa de ovo

Fonte: Autoras,2020

Então para garantir um melhor isolamento dentro da caixa, além da caixa de ovo aplicou-se por cima dela uma espuma de espessura de 30mm (Figura 16). A espuma por ser porosa ela tem uma boa absorção, assim permitindo que o som não ultrapasse para o ambiente interno com tanta intensidade. Então com a composição dos dois materiais e o MDF, consegue-se baixar a intensidade sonora dentro da caixa, com isso adotou-se essa estrutura como padrão para todos os ensaios com diferentes materiais na cobertura da caixa.



Figura 16 - Caixa acústica revestida com caixa de ovo e espuma

Fonte: Autoras,2020

Depois para iniciar os testes principais, foi colocado a 1 metro de distância da caixa, o emissor, no caso utilizou-se uma caixa de som para emitir frequências direto para a caixa acústica onde se encontrava um decibelímetro no seu interior.

As frequências emitidas foram: ambiente, 50, 120, e 300. Foram realizados 64 testes, onde cada tipo de telha era testado sozinho, também com cada frequência, e com cada tipo de forro. O começo dos testes se deu no dia vinte e oito de outubro, e concluído dia primeiro de novembro, foram feitos em local aberto somente coberto, realizado as 10 horas e 30min na Rua Monteiro Lobato.

Para conseguir acompanhar a cada frequência, reproduziu-se o decibelímetro (BOSCH) que está dentro da caixa acústica para uma tela do computador, assim conseguia acompanhar quanto estava medindo no seu interior, em seguida com o auxílio de uma tabela no Excel a cada frequência emitida era anotado a quantidade de dB dentro da caixa, assim seletivamente foi feito com cada material. O ar e o vão livre entre a telha e o forro ajuda no isolamento acústico, para saber a diferença entre os materiais retirou-se esse vão que era deixado entre eles.

- **Primeiro teste: Telha colonial**



Figura 17 - Telha Cerâmica

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado apenas a telha cerâmica e mediu as frequências no interior da caixa (Figura17).

A) TELHA COLONIAL + FORRO TERMOACÚSTICO



Figura 18 - Telha cerâmica + forro termo painel

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro termo painel mais a telha cerâmica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 18).

B) TELHA COLONIAL + FORRO GESSO ACARTONADO

Figura 19 - Telha cerâmica + forro gesso acartonado

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro gesso acartonado mais a telha cerâmica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 19).

C) TELHA COLONIAL + FORRO PVC

Figura 20 - Telhado cerâmico + forro PVC

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro PVC mais a telha cerâmica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 20).

- **Segundo teste: Telha termoacústica**



Figura 21 - Telha termoacústica

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado apenas a telha termoacústica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 21).

A) TELHA TERMOACÚSTICA + FORRO TERMOACÚSTICO



Figura 22 - Telha termoacústica + forro termoacústico

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro termoacústico mais a telha termoacústica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 22).

B) TELHA TERMOACÚSTICA + FORRO GESSO ACARTONADO



Figura 23 - Telha termoacústica + forro gesso acartonado

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro gesso acartonado mais a telha termoacústica e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 23).

C) TELHA TERMOACÚSTICA + FORRO PVC



Figura 24 - Telha termoacústica + forro PVC

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro PVC mais a telha termoacústica e medimos as frequências dentro da caixa.

- **Terceiro teste: Telha metálica**



Figura 25 - Telha metálica

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado apenas a telha metálica (TP40) e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 25).

A) TELHA METÁLICA + FORRO TERMOACÚSTICO



Figura 26 - Telha metálica + forro termoacústico

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro termoacústico mais a telha metálica (TP40) e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 26).

B) TELHA METÁLICA + FORRO GESSO ACARTONADO



Figura 27 - Telha metálica + forro gesso acartonado

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro gesso acartonado mais a telha metálica (TP40) e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 27).

C) TELHA METÁLICA + FORRO PVC



Figura 28 - Telhado metálico + forro PVC

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro PVC mais a telha metálica (TP40) e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 28).

- **Quarto teste: Telha fibrocimento**



Figura 29 - Telha fibrocimento

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado apenas a telha fibrocimento medimos as frequências dentro da caixa (Figura 29).

A) TELHA FIBROCIMENTO +FORRO TERMOACÚSTICO



Figura 30 - Telha fibrocimento + forro termoacústico

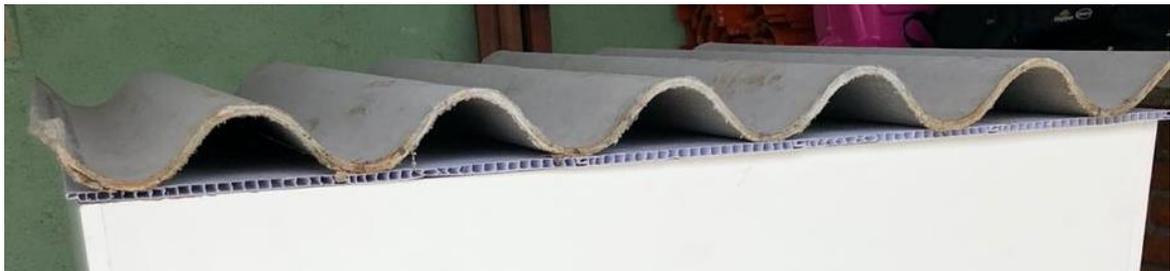
Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro termoacústico mais a telha fibrocimento e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 30).

B) TELHA FIBROCIMENTO +FORRO GESSO ACARTONADO**Figura 31 - Telha fibrocimento + forro gesso acartonado**

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro gesso acartonado mais a telha fibrocimento e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 31).

C) TELHA FIBROCIMENTO +FORRO PVC**Figura 32 - Telhado fibrocimento + forro PVC**

Fonte: Autoras,2020

Foi colocado o forro PVC mais a telha e medimos as frequências dentro da caixa (Figura 32).

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Levando-se em consideração os materiais testados, percebe-se através dos testes realizados a diferença e a variação entre cada um, testado individual e, com outro material.

Assim apresentar o comparativo do desempenho acústico das coberturas na construção civil. Cada teste foi realizado e passado para tabela no Excel, que depois de pudesse ser configurado em forma de gráficos com ajuda do programa POWERBI.

Frequência (Hz)	Intensidade Sonora externa (dB)	Intensidade Sonora interna (dB)	Materiais utilizados
40	50	38	Isotelha + PVC
50	61	61	Isotelha + PVC
120	83	66	Isotelha + PVC
300	98	95	Isotelha + PVC
40	50	37	Isotelha + Gesso
50	61	56	Isotelha + Gesso
120	83	68	Isotelha + Gesso
300	98	95	Isotelha + Gesso
40	50	39	Isotelha + Pannel
50	61	62	Isotelha + Pannel
120	83	67	Isotelha + Pannel
300	98	92	Isotelha + Pannel
40	50	38	Isotelha
50	61	58	Isotelha
120	83	63	Isotelha
300	98	91	Isotelha

Tabela 6 - Resultados da telha termoacústica

Fonte: Autoras,2020

Percebe-se na tabela 6 que uma frequência de (50 Hz) a isotelha + gesso é a mais indicada, quando a frequência chega aos (120 Hz) a mais indicada fica sendo a isotelha sem nenhum forro e quando a frequência alcança os (300 Hz) a isotelha continua sendo a mais indicada.

Frequência (Hz)	Intensidade Sonora externa (dB)	Intensidade Sonora interna (dB)	Materiais utilizados
40	50	42	TP40
50	61	61	TP40
120	83	69	TP40
300	98	94	TP40
40	50	38	TP40 + Gesso
50	61	57	TP40 + Gesso
120	83	65	TP40 + Gesso
300	98	90	TP40 + Gesso
40	50	40	TP40 + Painei
50	61	63	TP40 + Painei
120	83	66	TP40 + Painei
300	98	94	TP40 + Painei
40	50	40	TP40 + PVC
50	61	56	TP40 + PVC
120	83	62	TP40 + PVC
300	98	94	TP40 + PVC

Tabela 7 - Resultados da telha metálica

Fonte: Autoras,2020

Já com a telha metálica, percebe-se que quando tem uma frequência de (50 Hz) a TP40 + PVC é a mais indicada, quando a frequência alcança os (120 Hz) a mais indicada continua sendo a TP40 + PVC e quando a frequência chega aos (300 Hz) a TP40 + gesso fica sendo a mais indicada.

Frequência (Hz)	Intensidade Sonora externa (dB)	Intensidade Sonora interna (dB)	Materiais utilizados
40	50	41	Fibrocimento + PVC
50	61	58	Fibrocimento + PVC
120	83	53	Fibrocimento + PVC
300	98	87	Fibrocimento + PVC
40	50	38	Fibrocimento + Gesso
50	61	58	Fibrocimento + Gesso
120	83	68	Fibrocimento + Gesso
300	98	91	Fibrocimento + Gesso
40	50	37	Fibrocimento + Painei
50	61	60	Fibrocimento + Painei
120	83	67	Fibrocimento + Painei
300	98	92	Fibrocimento + Painei

(continuação)

(conclusão)

40	50	41	Fibrocimento
50	61	54	Fibrocimento
120	83	60	Fibrocimento
300	98	90	Fibrocimento

Tabela 8 - Resultados da telha fibrocimento

Fonte: Autoras,2020

Quando analisa-se a telha fibrocimento, percebe-se que uma frequência de 50 Hz a fibrocimento é a mais indicada, quando a frequência chega aos 120 Hz a mais indicada fica sendo a fibrocimento + PVC e quando a frequência alcança os 300 Hz a fibrocimento + PVC continua sendo a mais indicada.

Frequência (Hz)	Intensidade Sonora externa (dB)	Intensidade Sonora interna (dB)	Materiais utilizados
40	50	50	Colonial
50	61	58	Colonial
120	83	75	Colonial
300	98	95	Colonial
40	50	40	colonial + gesso
50	61	56	colonial + gesso
120	83	73	colonial + gesso
300	98	89	colonial + gesso
40	50	39	colonial + pvc
50	61	56	colonial + pvc
120	83	72	colonial + pvc
300	98	89	colonial + pvc
40	50	39	colonial + painel
50	61	50	colonial + painel
120	83	68	colonial + painel
300	98	91	colonial + painel

Tabela 9 - Resultados da telha cerâmica

Fonte: Autoras,2020

Para a telha cerâmica, percebe-se que com a frequência de 50 Hz a colonial + painel é a mais indicada, quando a frequência chega aos 120 Hz a mais indicada continua sendo a colonial + painel e quando a frequência alcança os 300 Hz a colonial + gesso e também a colonial + PVC fica sendo a mais indicada.

Foram comparados quatro tipos de telhas e três tipos de forros, lembrando que ainda há inúmeros tipos de coberturas e forros para construções, que não foram ensaiados neste trabalho.

Para melhorar a visualização do gráfico utilizou-se a sigla dB, para representar a intensidade sonora em decibéis, e foram calculadas a porcentagem que cada material conseguiu promover de decibéis.

- **Primeira comparação entre telhas**

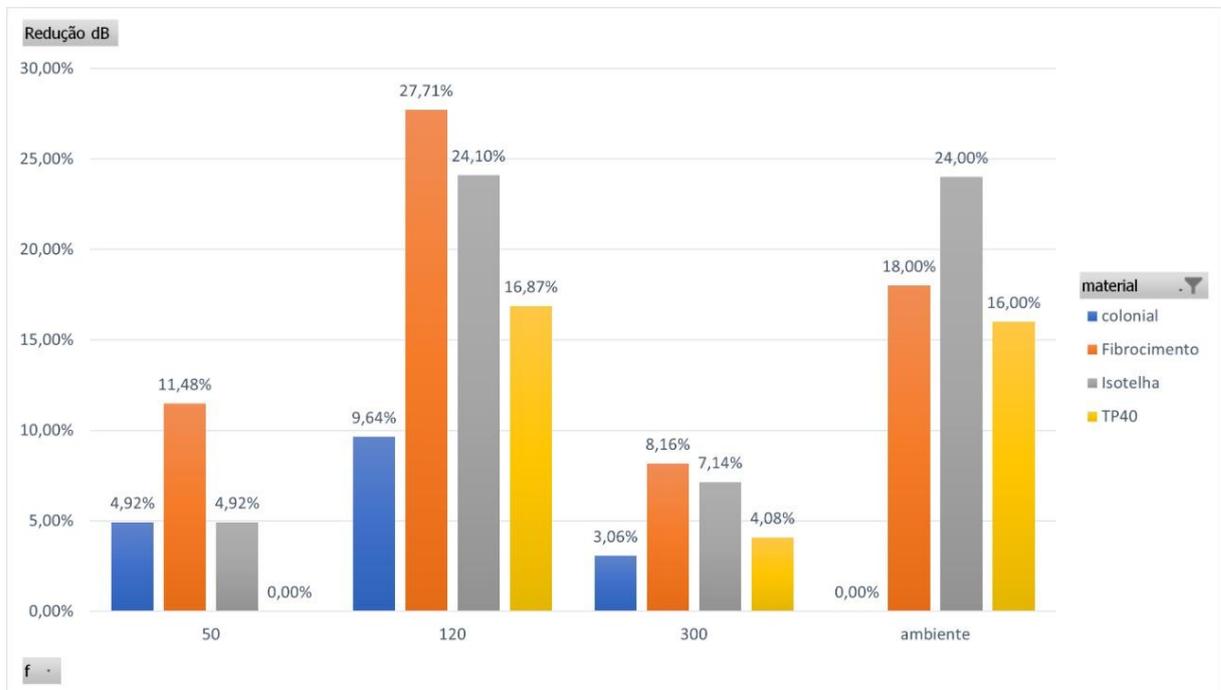


Figura 33 - Gráfico de comparação entre telhas

Fonte: Autoras,2020

No gráfico apresentado é possível observar que para a frequência de 50 Hz, o material que obteve o melhor desempenho foi a Isotelha, mas com o aumento da frequência a telha de fibrocimento foi um pouco melhor. Já a TP40 foi a que obteve o pior resultado comparativo.

- Segunda comparação telhas + forro termopanel

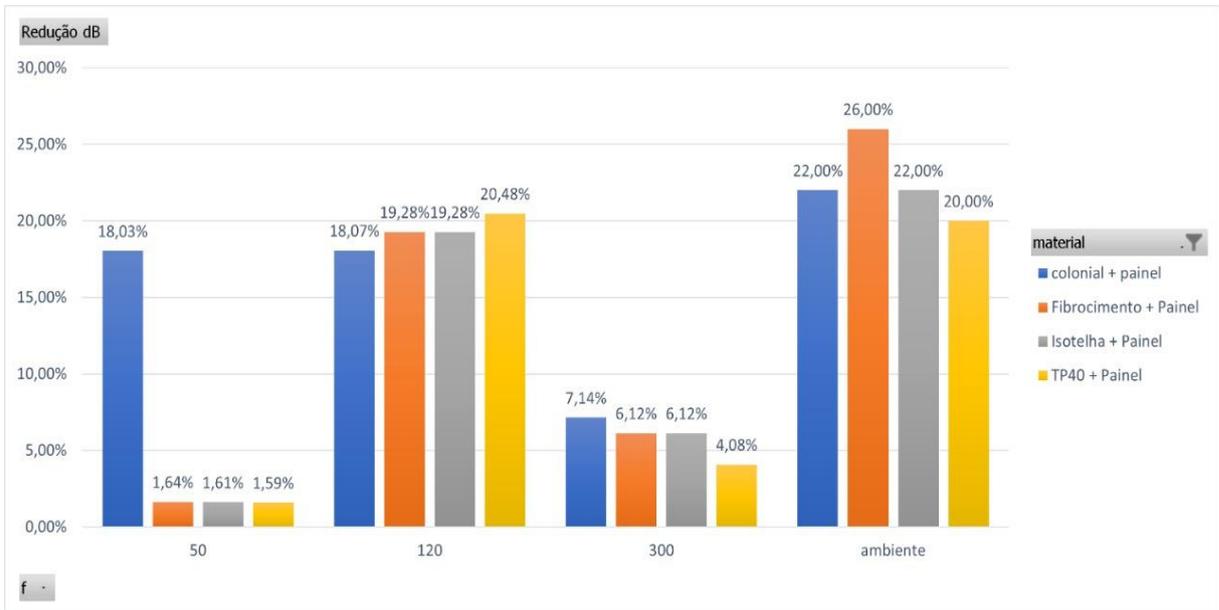


Figura 34 - Gráfico de comparação entre telhas + termopanel

Fonte: Autoras,2020

Nesse gráfico é possível observar que a telha de Fibrocimento + Painel apresentou a maior redução enquanto a frequência estava em 50 Hz, aumentando a frequência a colonial + painel teve uma redução brusca em relação as outras telhas, assim dando para perceber que quando a variação de frequência o comportamento dos matérias pode variar na vedação acústica.

- Terceira comparação telhas + forro gesso

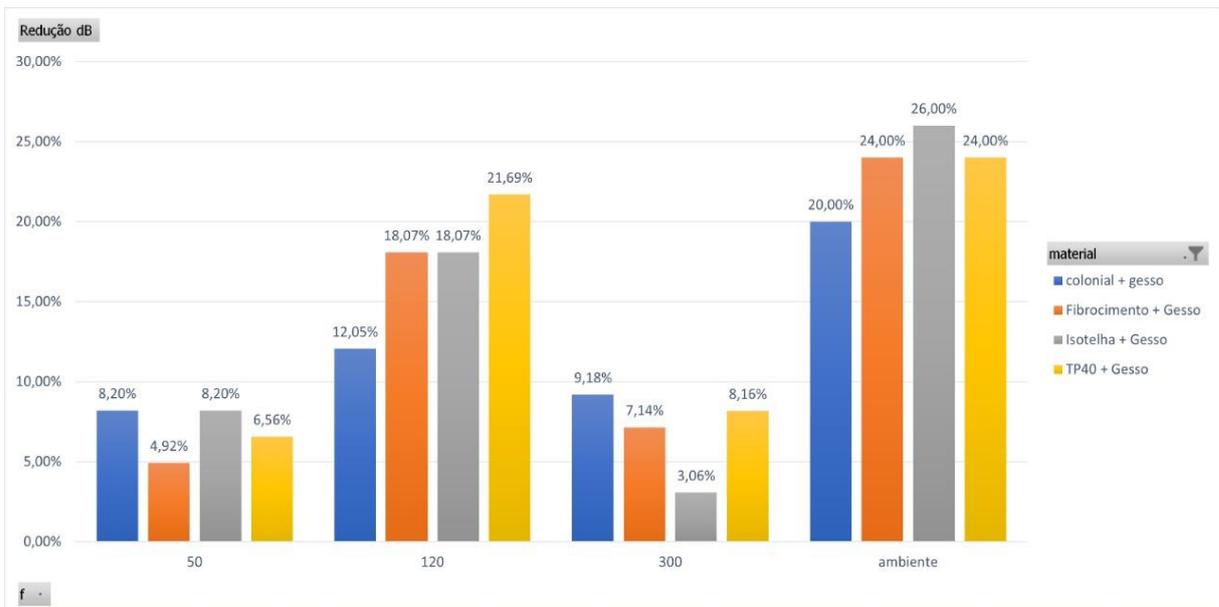
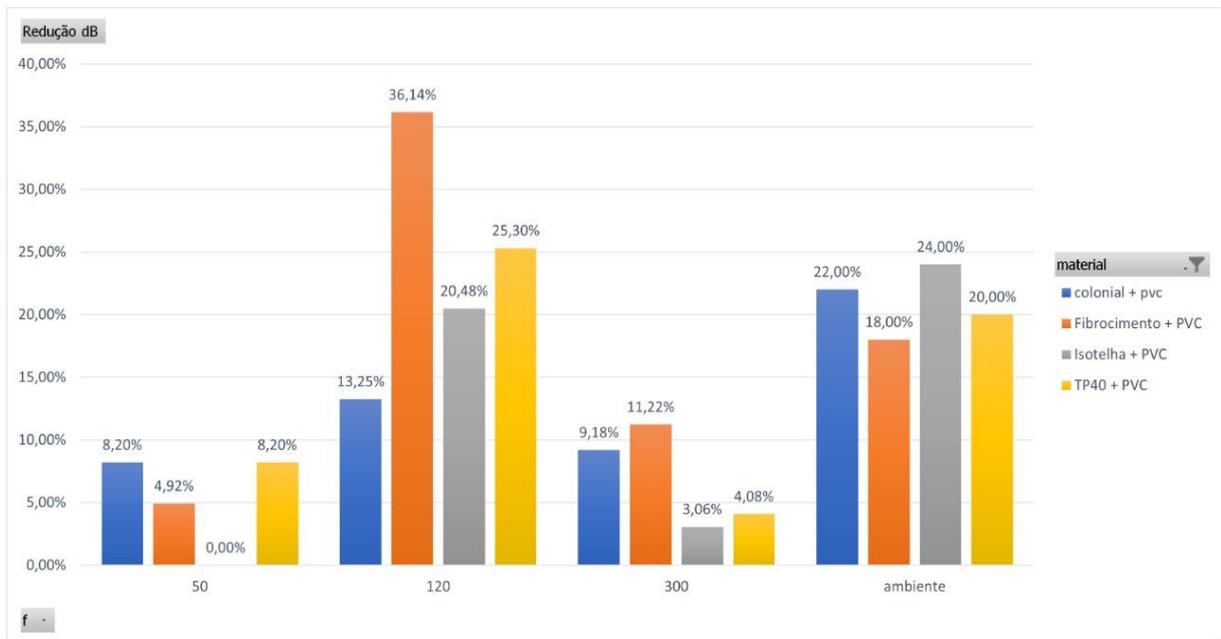


Figura 35 - Comparação de telhas + gesso

Fonte: Autoras,2020

No terceiro gráfico pode-se concluir que a Isotelha + Gesso apresentou uma boa redução enquanto a frequência estava baixa, mas assim que a frequência aumentou em 80 Hz, a redução da TP40 + Gesso foi a melhor.

- **Quarta comparação telhas + forro PVC**

**Figura 36 - Comparação de telhas + PVC**

Fonte: Autoras,2020

No último gráfico, a redução que teve melhor desempenho nos 50 Hz foi a Isotelha + PVC, mas com o aumento da frequência a Fibrocimento + PVC teve uma grande redução sonora em comparação com as demais.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca pelo conforto ambiental tem sido cada vez mais frequente na sociedade. Estão presentes nas indústrias da construção civil, com o aparecimento de normas voltadas ao desempenho e aumentando a busca por certificações de materiais, por parte das empresas. Com o avanço da construção civil, tem sido exigido até pelos consumidores finais o selo de certificações.

O objetivo experimental foi analisar os tipos de telhados e forros, avaliando o seu desempenho sonoro, a fim de saber-se qual seria o que isolasse mais o som e ruído externo.

A partir dos ensaios os materiais que teve o melhor desempenho para a questão do isolamento acústico referente as frequências emitidas:

- 50Hz colonial + termopanel;
- 120Hz telha fibrocimento + PVC;
- 300Hz fibrocimento +PVC;
- 40Hz fibrocimento +painel.

Não descartando a possibilidade do usar os outros materiais, pois devem ser analisados não só pela sua capacidade acústica. Levando em consideração outros recursos como o custo-benefício, mão de obra para sua instalação, tempo, valor, matérias para sua estrutura que irá suportar, finalidade da obra, clima, localização, impacto do meio externo naquela região da obra. Assim depois de ter feito todo o balanço, chegar na melhor escolha deixando muitas vezes de ter problemas futuros, e gasto maiores, e procurando profissionais que entendam do assunto para poder ajudar.

Averiguado os materiais com baixo desempenho em cada frequência, nota que alguns materiais podem se igualar na questão da vedação acústica. Para as frequências de:

- 50Hz fibrocimento + termopanel, isotelha + termopanel;
- 120Hz telha colonial;
- 300Hz colonial, isotelha + PVC, e isotelha +gesso;
- 40Hz Tp-40 (telha metálica).

A isotelha quando exposta a frequência mais alta recomendando-se o uso da telha sem nem um tipo de forro, por ter relação com a ressonância mecânica. Em frequência baixa a telha com o forro de gesso absorve melhor.

Quando se compara os resultados da TP40, quando a frequência é mais baixa com o forro PVC absorve melhor, mas quando a frequência chega em 300 Hz o gesso é o material com mais absorção.

Já os resultados da telha de fibrocimento, em baixa frequência sem o forro absorve melhor o som, e quando aumenta-se a frequência e se tem o forro PVC já absorve melhor.

E os resultados da telha cerâmica, conclui-se que em baixas frequências, a telha cerâmica com o painel absorve melhor e quando a frequência passa de 120 Hz o material PVC tem a absorção melhor.

Os resultados obtidos incentiva a dar continuidade para as pesquisas, sugestões como: testar novos tipos de telhas e forros já existentes no mercado da construção civil. Vedar o ambiente interno com espumas acústicas usadas em estúdios de música, aumentando a precisão nos resultados. Caracterizar parâmetros físico-químicos para elaboração de novas telhas e até mesmo forros, assim obtendo um conforto acústico melhor.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152 – Níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987. 4p.**

QUALIDADE ONLINE. **As normas técnicas para as telhas de fibrocimento.** Disponível em: <<https://qualidadeonline.wordpress.com/2014/10/08/as-normas-tecnicas-para-as-telhas-de-fibrocimento/#:~:text=No%20s%C3%A9culo%20XVII%2C%20o%20uso,das%20telhas%20feitas%20de%20ard%C3%B3sia.>> Acessado em 21 de Out de 2020.

BLOG DO ENEM, **Fenômenos ondulatórios.** Disponível em: <<https://blogdoenem.com.br/fenomenos-ondulatorios-fisica-enem/>> Acessado em 30 de Abr de 2020.

CARVALHO, R. P. **Acústica Arquitetônica.** 2 ed. Ed. Thesaurus. Brasília, 2010. 240p.

DECORFACIL, **Gesso acartonado: o que é, tipos, vantagens e fotos.** Disponível em: <<https://www.decorfacil.com/gesso-acartonado/>> Acessado em 31 de Out de 2020.

DIAS, A. S. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas metálicas utilizadas em edificações estruturadas de aço.** Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas departamento de engenharia civil programa de pós-graduação em engenharia civil.

EDUARDO MURGEL. **Fundamento de Acústica Ambiental** – São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2007. 1) Educação Ambiental – Ruído – Controle. 2) Poluição sonora I. Título.

ARCHDAILY, **Entendendo absorção e difusão acústica em projetos de arquitetura.** Disponível em: <<https://www.archdaily.com.br/br/912788/entendendo-absorcao-e-difusao-acustica-em-projetos-de-arquitetura>> Acessado em 22 de Mai de 2020.

FORROS DE GESSO E PVC COMPARATIVAMENTE AO FORRO DE MADEIRA: AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE EMISSÕES DE CO₂. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil – volume 14, 2018**

GERGES, S. **Ruído: fundamentos e controle**. 1 ed. Revisores: Elizabeth R. C. Marques e Roberto Muller Heidrih. Florianópolis, 1992. 600p.

LEROYMERLIM, Disponível em: <https://www.leroymerlin.com.br/forro-de-pvc-modular-1250-x-625-x-10mm-c--13-pcs-branco-plasbil_1566988338> Acessado em 03 de Nov de 2020.

LUSOPATIA, **Reflexão do som**. Disponível em: <<https://lusopatia.files.wordpress.com/2012/11/reflexao-do-som.jpg>> Acessado em 06 de Mar de 2020.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 4 ed. – São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA, 2011. 269 p.

NAKARUMA, J. **Conforto Acústico**. Revista Técnica, 106ª Ed., Ano XIV, p.44-47, 2006.

CONHECER. **Produção de telha de fibrocimento sem amianto**. Disponível em: <<http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/ENGENHARIAS/producao%20de%20telha.pdf>> Acessado em 29 de Out de 2020.

QCONCURSOS, **Questões de concursos**. Disponível em: <<https://www.qconcursos.com/questoes-de-concursos/questoes>> Acessado em 06 de Mar de 2020.

TAMIOSSO, L. S. **Caracterização acústica de telhas sanduíche ou compostas e seus componentes: estudo de caso**. Universidade Federal de Santa Maria – Centro de Tecnologia – Programa de Pós-Graduação em engenharia civil.

TEGULA, **Composição do telhado**. Disponível em: <http://www.tegula.com.br/install/composicao_do_telhado.asp> Acesso em 01 de Nov de 2020.

UNIVERSIDADE FEDERALRIO DO RIO GRANDE DO SUL, **Ótica geométrica: reflexão e refração**. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/fis183/exp9/experimento9.htm>> Acessado em 10 de Mar de 2020.

WHO. **1,1 Bilhões de pessoas em risco de perda auditiva**. World Health Organization. Disponível em: < <https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2015/ear-care/en/> > Acesso em 31 de Out de 2020.

PEDREIRAO. **Tipos de telhas e suas características**. Disponível em: < <https://pedreira.com.br/tipos-de-telhas-e-suas-caracteristicas/>> Acesso em 05 de Nov de 2020.

POWERBI. **Gráficos da pesquisa**. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYTlmZDk5MGQtMmZkYy00NmMxLWE2YWQtZWE0M2ViOWU2OWFjIiwidCI6ImE2ZTU4MDE2LWQ0ZjAtNGI0NC04NmIyLTY2ZTQ3M2MxNDg2YSJ9>> Acesso em 02 de Nov de 2020.

ENGENHARIA CIVIL FSP. **Gesso para construção civil**. Disponível em: <<https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/aula-07-gesso-para-construc3a7c3a3o-civil.pdf>> Acesso em 30 de Set de 2020.

PORTAL EDUCAÇÃO. **Origem da Telha**. Disponível em: <<https://siteantigo.portaleducacao.com.br/conteudo/artigos/engenharia/origem-da-telha/60348>> Acesso em 17 de Ago de 2020.

ISOVER. **Isolamento ou absorção acústica: Quais são as diferenças**. Disponível em:<<https://www.isover.com.br/isolamento-ou-absorcao-acustica-quais-sao-diferencas>> Acessado em 01 de Set de 2020.