

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

BRUNA FUZZER DE ANDRADE

**PADRÕES NORMATIVOS, ENSAIOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE
DA PERFORMANCE ACÚSTICA DE TELHAS SANDUÍCHE**

**Santa Maria, RS, Brasil
2016**

Bruna Fuzzer de Andrade

**PADRÕES NORMATIVOS, ENSAIOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DA
PERFORMANCE ACÚSTICA DE TELHAS SANDUÍCHE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Dinara Xavier da Paixão

Santa Maria, RS, Brasil
2016

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Andrade, Bruna Fuzzer de
Padrões normativos, ensaios experimentais e análise da performance acústica de telhas sanduíche / Bruna Fuzzer de Andrade.-2016.
107 p.; 30cm

Orientador: Dinara Xavier da Paixão
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, RS, 2016

1. Acústica, telhas sanduíche, coberturas 2. Coeficientes de absorção e perda de transmissão em coberturas I. Paixão, Dinara Xavier da II. Título.

©2016

Todos os direitos autorais reservados a Bruna Fuzzer de Andrade. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Rua Vereador Homero Behr Braga, nº. 97, São Serafim, Santa Maria, RS. CEP: 97030-844

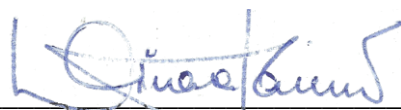
Fone: (055) 9654 8485; E-mail: bruna.fuzzer@windowslive.com

Bruna Fuzzer de Andrade

**PADRÕES NORMATIVOS, ENSAIOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DA
PERFORMANCE ACÚSTICA DE TELHAS SANDUÍCHE**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Construção Civil e Preservação Ambiental, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil**.

Aprovado em 26 de Janeiro de 2016:



Dinara Xavier da Paixão, Dra. (UFSM)
(Presidente/ Orientador)



Marco Antônio Silva Pinheiro, Dr. (UFSM)



Elcione Maria Lobato de Moraes, Pós-Dra. (UFPA)

Santa Maria, RS, Brasil
2016

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha Família, pelo apoio, carinho e amor transmitido incondicionalmente, em todos os momentos; Ao meu Tio Airton Fuzzer, responsável pelo incentivo nos estudos e ânsia de crescimento profissional; Aos meus futuros alunos, principal motivação para o término deste curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço inicialmente a Deus.

Desejo agradecer a muitos que auxiliaram a realização deste trabalho. Ao citar alguns nomes, desejo expressar minha profunda gratidão a todos.

Aos meus pais, que me deram a vida e batalharam sempre para deixarem a mim os maiores bens de todos: o amor, o conhecimento e a formação profissional.

A minha Orientadora Dinara Paixão, pela oportunidade, pelas explicações e paciência durante o processo de formação.

Aos amigos mestrandos Larissa Tamiosso, Diego Machado e Daiana Fauro pelo verdadeiro companheirismo nos mais diversos momentos e sendo muitos deles a ajuda incansável.

Aos colegas de profissão, Leonardo Arzeno e Claudia Gaida, que mesmo sem ter obrigação se propuseram a me auxiliar na conclusão do trabalho.

Aos alunos do curso de Engenharia Acústica, Luís Fernando Dorneles Filho, Andrew Rafael e Rafael Audi, pelo auxílio com os equipamentos durante a realização dos ensaios.

Ao Laboratório de Engenharia Acústica da UFSM, em especial aos funcionários Sr. Guerra, Eder e Sr. Bortoluzzi, pelo incansável apoio prestado.

A todos meus amigos, familiares, sócias e clientes, pelo carinho e compreensão.

A Empresa Alitec Construções LTDA, que cedeu mão de obra para a montagem das amostras ensaiadas.

A Empresa TelhaSul, que emprestou as telhas para os ensaios.

À direção do Centro de Tecnologia, professores e funcionários da UFSM, em especial à direção, professores e funcionários do PPGEC.

Por fim ao CNPq pela bolsa concedida.

A todos, minha consideração e sincero Obrigado.

"O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis."

(José de Alencar)

RESUMO

PADRÕES NORMATIVOS, ENSAIOS EXPERIMENTAIS E ANÁLISE DA PERFORMANCE ACÚSTICA DE TELHAS SANDUÍCHE

AUTORA: BRUNA FUZZER DE ANDRADE
ORIENTADORA: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

Em áreas urbanas, onde o ruído é significativo, as fachadas e coberturas devem apresentar um desempenho capaz de garantir a isolamento necessária para o conforto acústico dos usuários. As coberturas, embora sejam elementos importantes da envoltória das edificações, tem sido pouco estudadas na área de Acústica. A vigência da NBR 15575 Edificações habitacionais – Desempenho impactou, principalmente, o setor de fornecedores da construção civil, que necessitaram caracterizar seus produtos e sistemas. Além disso, em 2015, surgiu a NBR 16373 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho. A presente Dissertação teve como objetivo principal estabelecer uma metodologia de análise da performance acústica para telhas sanduíche, considerando padrões normativos e ensaios experimentais. Partiu-se das exigências da NBR 16373 para a execução dos ensaios de absorção e perda de transmissão sonora das telhas sanduíche do tipo telha + EPS. O procedimento experimental utilizado para a determinação do Coeficiente de Absorção Sonora (α) foi o método da câmara reverberante em campo difuso, normatizado pela ASTM C423. Os resultados mostraram um comportamento com maior absorção (0,29) numa faixa estreita em torno de 250 Hz e uma estabilização acima de 1600 Hz, com valores similares a 0,06. Tais coeficientes significam classificação 1, de acordo com a NBR 16373, ou seja, o pior desempenho da escala. No que tange ao ensaio de isolamento sonoro, executado de acordo com a ISO 10140, em câmara reverberante, foi quantificado o Índice de Redução Sonora Ponderado, $R_w = 20$ dB, desempenho acima do esperado, pois resultou próximo ao desempenho de outra telha mais valorizada comercialmente. As informações constantes na NBR 16373:2015 para a análise experimental da telha sanduíche são muito incompletas, por isso dificultam a realização dos ensaios. Para facilitar a execução, minimizando os erros decorrentes de interpretações equivocadas das normas técnicas envolvidas, estabeleceu-se uma metodologia de análise específica para ensaios realizados em telhas ou coberturas. Assim, propõe-se a adequação das amostras dos ensaios, a análise individual de cada material que compõe a telha e a avaliação das duas faces das telhas compostas, tendo em vista que elas podem possuir diferentes tipos de acabamento (forro, forro-filme, painel perfurado, entre outros) e, por isso, a análise da parte inferior da telha torna-se eficaz no auxílio da determinação do condicionamento acústico no interior de ambientes. Outra sugestão é a avaliação do ruído de impacto da chuva em telhas. Por fim, reitera-se a importância de que as informações técnicas sobre os produtos sejam claras e completas, permitindo que os consumidores finais possam obter um adequado desempenho acústico em suas edificações.

Palavras-Chave: Telha sanduíche, Absorção Sonora, Perda de Transmissão Sonora, Ensaio Acústico Telha.

ABSTRACT

REGULATORY STANDARDS, TESTING AND EXPERIMENTAL ANALYSIS OF ACOUSTIC PERFORMANCE OF SANDWICH TILES

AUTHOR: BRUNA FUZZER DE ANDRADE

ADVISOR: DINARA XAVIER DA PAIXÃO

In urban areas, where noise is significant, the facades and roofs must submit a performance capable of ensuring insulation required for the acoustic comfort of the users. The roof, although important elements of the envelope of buildings, has been little studied in Acoustics. The validity of ISO 15575 Residential Buildings - Performance impacted mainly the construction industry suppliers, who needed to characterize their products and systems. Also in 2015 came the NBR 16373 - tiles and thermoacoustic panels - Performance requirements. This Thesis aimed to establish a methodology to analyse the acoustic performance for sandwich tiles considering regulatory standards and experimental trials. It started from the requirements of ISO 16373 for performing absorption tests and sound transmission loss of sandwich type of shingle tiles + EPS. The experimental procedure used to determine the sound absorption coefficient (α) was the method of the reverberation chamber in a diffuse field standardized by ASTM C423. The results showed behaviour with greater absorption (0.29) in a narrow band around 250 Hz and stabilized above 1600 Hz, with values similar to 0.06. These factors mean rank 1 according to the NBR 16373, in other words, the worst performance scale. Regarding the sound insulation test, performed according to ISO 10140 in reverberation room, it was quantified the Weighted Sound Reduction Index, $R_w = 20$ dB, above the expected performance because resulted close to the performance of other more valued tile commercially. The information given on NBR 16373: 2015 for the experimental analysis of sandwich tile are very incomplete, so difficult the tests. To facilitate implementation, minimizing errors due to erroneous interpretations of the techniques involved standards, we established a specific analysis methodology for trials in shingles or tiles. Therefore, it is proposed that the adequacy of samples of the tests, the individual analysis of each material that compose the shingle and evaluation of the two faces of the composite tiles, in order that they may have different types of finish (liner, liner-film, perforated panel, among others) and therefore the analysis of the lower tile becomes effective in assisting in the determination of the acoustic conditioning of the interior environments. Another suggestion is the evaluation of the rain impact noise on tiles. Finally, we reiterate the importance of the technical product information are clear and complete, allowing consumers to obtain adequate acoustic performance in their buildings.

Keywords: Sandwich Tiles, Sound Absorption, Sound Transmission Loss, Acoustic Test Tile.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Levantamento da fabricação de telhas de aço em função do tipo de telha.	20
Figura 2 - Relação de três sons específicos, som residual e som total.	23
Figura 3 - Tipos de ondas nos sólidos.	24
Figura 4 - Esquema da incidência de ondas sonoras em uma cobertura.	25
Figura 5 - Esquemática da transmissão de energia sonora entre meios.	35
Figura 6 - Isolamento sonoro de uma parede simples.	36
Figura 7 - Espectro da perda de transmissão sonora e curva de referência para determinação do R_w	38
Figura 8 - Esquema da disposição das peças de um telhado de telhas cerâmicas/ concreto...	43
Figura 9 - Disposição das peças de um telhado de telhas metálicas/ fibrocimento.	43
Figura 10 - Estrutura de um pavilhão com cobertura de duas águas, com tesoura e colunas e de um pavilhão de duas águas e estrutura em pórtico, respectivamente.	44
Figura 11 - Estrutura de um pavilhão geminado com quatro meias águas e de um edifício industrial geminado com meias águas no sentido transversal, respectivamente.	44
Figura 12 - Estrutura de um pavilhão com telhado em shed e estrutura em pórticos com perfis I e vigas mestras e secundárias treliçadas, e um pavilhão com estrutura em arco...	45
Figura 13 - Esquema dos elementos de um telhado típico de telhas metálicas.	46
Figura 14 - Imagem da tinta aplicada a uma peça, destaque para a textura final da tinta.	47
Figura 15 - Ilustração da composição da telha TopSteel.	47
Figura 16 - Processo de perfilação de seção ondulada e trapezoidal.....	50
Figura 17 - Perfiladeira portátil.	51
Figura 18 - Termos da seção trapezoidal segundo NBR 14514 - Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – Requisitos.	54
Figura 19 - Termos da seção ondulada segundo NBR 14513 - Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos.	54
Figura 20 - Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliestileno (EPS) e acabamento em telha.....	55
Figura 21 - Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliuretano (PU) e acabamento em telha.	57
Figura 22 - Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em polisocianurato (PIR) e acabamento em forro.	57
Figura 23 - Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em lã mineral e acabamento em telha.	58
Figura 24 - Esquema de montagem da telha com lã mineral.	58
Figura 25 - Vista do acabamento forro, que se caracteriza pela colocação de uma chapa corrugada na face interna.	59
Figura 26 - Vista do acabamento telha, que se define pela colocação de uma telha na face interna.	59
Figura 27 - Vista do acabamento perfurado, que se caracteriza pela colocação de uma telha perfurada na face inferior.	60
Figura 28 - Vista do acabamento filme, que se define pela colocação de uma película protetiva de alumínio na face inferior.	60
Figura 29 - Vista de um dos tipos de encaixe longitudinal e superior, respectivamente, da telha sanduíche.	62
Figura 30 - Indicação do modo de parafusamento.	63
Figura 31 - Orientação dos locais de fixação conforme tipologia de telha.	63

Figura 32 - Indicação dos elementos para fixação da telha termoacústica.	64
Figura 33 - Ilustração da cumeeira lisa, cumeeira dentada, shed lisa e shed dentada, respectivamente.	64
Figura 34 - Ilustração do canto interno, canto externo, rufo superior e espaçador, respectivamente.	65
Figura 35 - Esquematização da câmara Reverberante do LEAC / UFSM.	73
Figura 36 - Câmara Reverberante do LEAC / UFSM.	74
Figura 37 - Imagem do posicionamento da amostra na câmara reverberante.	75
Figura 38 - Preenchimento dos vazios entre telha e moldura com poliuretano expandido. ...	75
Figura 39 - Esquematização do posicionamento da amostra na câmara reverberante.	76
Figura 40 - Localização dos pontos de microfone de 1 a 5 e fonte nº 1.	77
Figura 41 - Localização dos pontos de microfone de 6 a 10 e fonte nº 2.	78
Figura 42 - Esquematização da câmara Reverberante dupla do LEAC / UFSM.	80
Figura 43 - Vista da montagem da estrutura para sustentação das telhas.	81
Figura 44 - Aplicação de poliuretano expandido no perímetro da estrutura de sustentação. .	81
Figura 45 - Processo de fixação com parafusos de fixação e costura respectivamente, e aspecto final.	82
Figura 46 - Processo de preenchimento do perímetro das telhas com espuma expansível de poliuretano.	82
Figura 47 - Vista da amostra finalizada pela sala de emissão.	83
Figura 48 - Vista da amostra finalizada pela sala de recepção.	83
Figura 49 - Localização dos pontos de microfone e fonte para medições de TR.	84
Figura 50 - Vista da montagem do ensaio de PT pela câmara de recepção.	86
Figura 51 - Localização dos pontos de fonte e microfone para o ensaio de perda de transmissão sonora.	86
Figura 52 - Coeficientes de absorção sonora da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm).....	89
Figura 53 - Comparação dos coeficientes de absorção sonora da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm) e do poliestireno expandido (EPS).	90
Figura 54 - Comparação dos coeficientes de absorção sonora da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm) com telha de aço galvanizado.	91
Figura55 - Isolamento sonoro da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm).	92
Figura 56 - Espectro da perda de transmissão sonora e curva de referência para determinação do R_w	93

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Tipos de sons definidos pela NBR 16313:2014 – Terminologia.	22
Tabela 2 - Tipos de ruído definidos pela NBR 16313:2014 – Terminologia.	24
Tabela 3 - Descrição das partes que compõe um telhado.	41
Tabela 4 - Descrição dos itens que pode ter um telhado.	42
Tabela 5 - Descrição dos elementos que compõe um telhado.	45
Tabela 6 - Descrição das características dos principais tipos de aço para fabricação de telhas.	49
Tabela 7 - Tabela de especificações do EPS.	56
Tabela 8 - Tabela para verificação do espaçamento e quantidade de apoios da estrutura de telhado, em função das características da telha.	61
Quadro 1 - Coeficientes de absorção sonora de materiais e de revestimentos de superfícies.	28
Quadro 2 - Coeficientes de absorção sonora de materiais.	30
Quadro 3 - Comparação da ASTM C423 com a ISO 354.	32
Quadro 4 - Nomenclatura e características dos elementos das telhas trapezoidais e onduladas.	52
Quadro 5 - Especificação dos parafusos de acordo com a estrutura do telhado.	62
Quadro 6 - Classificação quanto ao isolamento acústico.	68
Quadro 7 - Classificação quanto a absorção acústica.	68
Quadro 8 - Classificação quanto a absorção acústica.	70
Quadro 9 - Características da telha ensaiada.	72
Quadro 10 - Descrição dos equipamentos utilizados no ensaio de absorção sonora.	77
Quadro 11 - Descrição dos equipamentos utilizados no ensaio de PT.	85
Quadro 12 - Coeficientes de absorção da telha sanduíche (Telha + EPS) e seu NRC.	88
Quadro 13 - Sugestão de rotina de ensaio para a avaliação de telhas compostas.	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CBCA - Centro Brasileiro da Construção em Aço;

ABCEN - Associação Brasileira da Construção Metálica;

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;

NBR - Norma Brasileira;

EPS - Poliestireno

PU - Poliuretano;

XPS - Polisocianurato.

LISTA DE EQUAÇÕES

Eq. 1 – Índice de absorção.	33
Eq. 2 – Subtração dos resultados da câmara com a amostra, pelos resultados da câmara vazia.	33
Eq. 3 – coeficiente de absorção sonora.	33
Eq. 4 – coeficiente de absorção sonora simplificado.	34
Eq. 5 – coeficiente de redução sonora (NRC).	34
Eq. 6 – Fórmula da lei da massa.	36
Eq. 7 – Cálculo da frequência crítica (f_c) de painéis sanduíche.	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	177
1.1. JUSTIFICATIVA.....	188
1.2. OBJETIVOS.....	20
1.2.1. Objetivo Geral.....	20
1.2.2. Objetivos Específicos.....	21
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	21
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 A ACÚSTICA.....	22
2.1.1 Absorção Sonora.....	27
2.1.2 Isolamento sonoro.....	34
2.1.3 Poluição Sonora e a qualidade de vida.....	39
2.2. TELHADOS.....	40
2.2.1 Definição.....	40
2.2.2. Tipologias de telhados.....	41
2.2.3. Tipos de telhas.....	46
2.3. TELHAS SANDUÍCHE.....	46
2.3.1. Matéria-Prima.....	48
2.3.2. Processo de fabricação.....	49
2.3.3. Tipos de perfis.....	52
2.3.4. Tipos de telhas sanduíche.....	54
2.3.4.1. Poliestileno (EPS).....	55
2.3.4.2. Poliuretano (PU).....	56
2.3.4.3. Polisocianurato (PIR).....	57
2.3.4.4. Lã Mineral.....	58
2.3.5. Fixação e arremates.....	60
2.3.5. Transporte, armazenagem, e manuseio.....	65
2.4. NORMATIVAS PERTINENTES.....	66
2.4.1. NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho.....	66
2.4.2. NBR 16373:2015 Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho.....	67
2.4.3. ISO 10140-2:2010 Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements- Part 2: Measurement of airborne sound insulation.....	69
2.4.4. ISO 717-1: 2013 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne sound insulation.....	69
2.4.5. ASTM C423 - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method.....	70
2.4.6. ISO 354:2003 - Measurement of sound absorption in a reverberation room.....	71
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	72
3.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO SONORA.....	73
3.1.1 Local de realização dos ensaios.....	73
3.1.2 Montagem e posicionamento da amostra.....	74
3.1.3 Equipamentos utilizados e posicionamentos.....	76
3.2 ENSAIOS DE PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA.....	79
3.2.1 Local de realização dos ensaios.....	79
3.2.2 Montagem da amostra.....	80
3.2.3 Equipamentos utilizados e posicionamento – Medição de TR.....	84
3.2.4 Equipamentos utilizados e posicionamento – Perda de transmissão sonora.....	85
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	88
4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO A ABSORÇÃO ACÚSTICA.....	88
4.2 AVALIAÇÃO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA.....	92
4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NBR 16373:2015 E PROPOSIÇÃO DE ROTINA PARA ANÁLISE DE TELHAS COMPOSTAS.....	94

5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
5.1	CONCLUSÕES	97
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	99
6.	REFERÊNCIAS.....	100

1. INTRODUÇÃO

Cada vez mais a acústica desempenha um papel significativo na sociedade, mais especificamente a acústica de edificações, a qual se preocupa não somente em tratar a acústica dos ambientes, mas também busca ações eficazes para o controle de ruído e principalmente para a manutenção da qualidade ambiental. Os centros urbanos e seu entorno imediato são os locais que mais sofrem com o barulho, sendo muitas vezes a própria conformação urbana agravante de problemas sonoros, devido aos diversos usos dos espaços, variedade de volumetrias das edificações e diversidade de materiais empregados na infraestrutura urbana (SOUZA *et al*, 2006, p. 22; BISTAFA, 2011, p. 7).

É fato que o som está presente no cotidiano das pessoas, pois elas emitem som para simplesmente comunicar-se (fala), para fazer suas atividades e até estão programando novos equipamentos que acabam gerando ruídos, sejam eles urbanos, domésticos, automobilísticos, entre outros. Neste contexto, deve-se questionar quanto às edificações, onde as instalações, o uso e o próprio entorno se mostram preocupantes quanto ao nível de ruído apresentado, sendo este último tratado como poluição ambiental. Paixão (2002, p.2) cita que os seres humanos têm primeiramente necessidades fisiológicas e o conforto ambiental interfere diretamente nelas, pois estão ligadas à saúde, à cultura e à socialização das pessoas.

Em pesquisa divulgada pelo Ministério dos Transportes e Infraestrutura de Baden – Württemberg (2013, p.14), na Alemanha, detectou-se que $\frac{1}{4}$ da população se sente perturbada pelo ruído, sendo o ruído de tráfego de veículos o que mais incomoda seguido do barulho de vizinhança, pois o primeiro é quase que intermitente e o segundo normalmente se trata de ruídos pontuais em meio ao sossego. Dado semelhante aos apresentados por Schafer (2001, p. 263) que aponta o ruído de vizinhança como um dos mais reclamados. Moraes e Negrão (2009, p. 4) completam que o desconforto com o ruído noturno pode ser ainda mais preocupante que o ruído diurno já que, para a maioria das pessoas o período de descanso é durante a noite. Porém, ambos são nocivos à qualidade de vida da população. “Interferências no descanso ou nas atividades das pessoas tendem a deteriorar o ambiente, através do desregramento das relações entre as atividades profissionais/ sociais e as necessidades básicas de moradia, condição também verificada em várias partes do Brasil” (AKKERMAN *et al*, 2014, p. 311).

Em função dos programas habitacionais lançados desde 2009 no Brasil, nos últimos anos foi vista uma busca intensa de imóveis pelas diferentes classes sociais, conforme descreve Righi (2013, p. 85). Este *boom* imobiliário obrigou as construtoras a buscarem

maneiras novas de construir que sejam mais rápidas e com valor acessível, o que resultou em unidades habitacionais com estruturas esbeltas, ambientes pequenos e principalmente busca por novos materiais. Juntamente com o fomento governamental no setor da construção civil, entrou em vigor a NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013, p. 1), na qual fica recomendado que os profissionais sejam responsáveis não só pelo projeto e execução, mas também pelo desempenho das edificações durante seu uso (RIGHI, 2013, p. 62).

Neste contexto além dos fabricantes, as construtoras e incorporadoras estão investindo no desenvolvimento de novos materiais.

A presente pesquisa se desenvolve como um processo de avaliação, uma ferramenta destinada aos profissionais, especificadores de materiais e população em geral, pois tem por objetivo a análise da performance acústica de uma tipologia de telha denominada comercialmente como termoacústica.

O material estudado vem sendo amplamente utilizado na construção civil, desde pequenas obras até obras públicas de grande porte, inclusive levando à recente publicação de uma primeira Norma específica para o material, a NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, de maio de 2015.

1.1. JUSTIFICATIVA

Considerando que o ruído é um dos principais agentes de piora da qualidade de vida humana (BISTAFA, 2011, p. 7), a atenção com o conforto ambiental nas edificações, gradativamente está se tornando objeto de avaliação não só dos profissionais da área da construção civil, mas também dos consumidores finais (BERTOLI, 2008, p. 1).

Ferreira (2009, p. 14) observa que a privacidade é um dos requisitos que os moradores querem encontrar quando regressam as suas residências para convívio familiar ou repouso, para isso necessitam conforto acústico na habitação.

O desconforto acústico surge quando o nível de sonoro no entorno impede a execução de determinadas atividades que exigem algum nível de silêncio, surgindo então o desconforto psicológico e/ou físico. Bertoli (2008, p.1) comenta que muito provavelmente “a maioria da população não saiba como avaliar esse conforto, mas a sua ausência está cada vez mais notável e, por isso, a exigência de utilizar ambientes acusticamente confortáveis está se tornando cada vez mais frequente”.

É somente depois do edifício pronto e entregue que, muitas vezes, o desconforto acústico passa a ser mencionado. Bertoli (2008, p.1) ressalta que “depois de prontas pode ser mais difícil, dispendioso ou impossível de realizar as devidas adequações nas edificações para atingir as condições mínimas de conforto”.

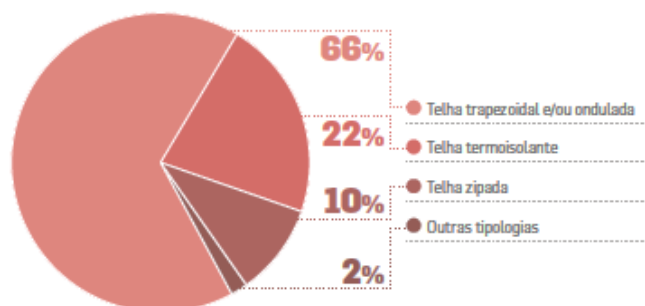
Em função da grande procura por imóveis nos últimos anos no Brasil, foi necessária a racionalização das obras, porém esta ocorreu com enfoque apenas na manutenção das condições de segurança estrutural. O que levou a uma grande redução de espessuras de lajes e paredes até a adoção de sistemas que hoje se mostram inadequados do ponto de vista do desempenho acústico (PIERRARD, 2015, p. 4). Akkerman (2014, p. 1) comenta que a NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho, foi decisiva para agregar conforto acústico às construções e que o próximo passo em relação à incorporação do conforto acústico nas edificações é o aprimoramento da indústria fornecedora da construção civil, que deve se aperfeiçoar na caracterização de seus produtos e sistemas, por meio de ensaios que demonstrem o desempenho de cada um.

Dentre os sistemas especificados pela NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais - Desempenho, estão os sistemas de coberturas, definido pela mesma como “conjunto de elementos, dispostos no topo da construção, com a função de assegurar a estanqueidade às águas pluviais e salubridade, proteger demais sistemas da edificação habitacional ou elementos da deterioração por agentes naturais, e contribuir positivamente para o conforto termoacústico da edificação habitacional”.

Barry (2000, p. 1) comenta que no Brasil em função do clima ser essencialmente tropical, muitos sistemas de telhados são leves, com estruturas simples e, em geral, não têm material térmico ou acústico. Porém o uso desses sistemas leves em ambientes sensíveis ao ruído, como escolas, edifícios de escritórios, salas de conferência e centros de lazer tem aumentado o interesse em relação ao seu desempenho acústico (MCLOUGHLIN, 1994, p. 1).

Em pesquisa recente do Centro Brasileiro da Construção em Aço (CBCA) e da Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCÉM), detectou que as telhas de aço, um dos exemplos de cobertura leve, representaram, no ano de 2014, 18,9% do mercado brasileiro de coberturas; e, dentro da tipologia de telhas metálicas, 22% correspondem a telhas com material termoisolante, conforme demonstra a Figura 1.

Figura 1 – Levantamento da fabricação de telhas de aço em função do tipo de telha.



Fonte: CBCA/ ABCEM, Out. 2015.

Concomitantemente em maio de 2015 foi publicada a NBR 16373 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, primeira norma brasileira específica de telhas termoacústicas. A qual define a telha termoacústica como um “conjunto formado por uma ou mais telhas metálicas, com camada de material isolante e/ou acústico (poliestireno, poliuretano, polisocianurato e lã mineral) produzidas na unidade fabril ou montadas na obra”. Esta norma visa classificar as telhas e painéis termoacústico, em relação ao isolamento e absorção acústica, assim como aborda classificações para a verificação do desempenho térmico e de flamabilidade.

Devido a NBR 16373:2015, relativa às telhas compostas, ser primária no Brasil, muitos fabricantes a desconhecem. E estão fazendo a venda de produtos, anunciados com propriedades termoacústicas, sem critérios de avaliação de desempenho claros. Porém, é de suma importância que os produtos oferecidos, aos profissionais e leigos, por parte dos fabricantes sejam criteriosamente avaliados, para poder anunciar determinadas propriedades dos materiais como diferencial de produto.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

- Estabelecer uma metodologia de análise da performance acústica para telhas sanduíche, considerando padrões normativos e ensaios experimentais.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Compilar as normativas, as bibliografias e as informações técnicas referentes às telhas sanduíche;
- Avaliar a performance acústica, em laboratório, de telha sanduíche do tipo telha + EPS, determinando o índice de absorção sonora e a Perda de Transmissão Sonora;
- Propor uma rotina de análise e melhorias para o desempenho acústico das telhas sanduíche.

1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, dispostos da seguinte forma:

Capítulo 01 – Introdução: É o capítulo onde é apresentada a justificativa, o tema da pesquisa, a proposição dos objetivos e a organização do trabalho.

Capítulo 02 – Fundamentação teórica: Parte onde se pode observar a revisão de literatura, assim como informações técnicas dos próprios fabricantes, que fundamenta o desenvolvimento do trabalho e as normas relacionadas.

Capítulo 03 – Materiais e métodos: É a divisão do trabalho que descreve as amostras utilizadas em cada ensaio, o local de realização e os equipamentos utilizados.

Capítulo 04 – Resultados e Discussões: É o capítulo onde é descrito os resultados obtidos para cada uma das amostras com suas respectivas análises. Sendo uma para o ensaio de absorção sonora em câmara reverberante simples, e outra amostra para o ensaio de perda de transmissão em câmara reverberante dupla. Assim como as considerações sobre a NBR 16373:2015 e proposição de rotina para análise de telhas compostas

Capítulo 05 – Considerações Finais: Parte final do trabalho onde é realizada a sintetização das análises dos resultados dos ensaios e da dissertação, bem como as recomendações para trabalhos futuros.

Por fim, apresenta-se o desfecho do trabalho, onde são mostradas as referências.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. A ACÚSTICA

A Acústica sempre participou das sociedades e esteve estreitamente ligada a manifestações culturais, exemplo disso são os ícones da Arquitetura da antiguidade. De acordo com Souza *et al.* (2006, p. 16) os anfiteatros gregos e romanos, usados para apresentações, discussões políticas, entre outros usos, eram projetados de forma a aproximar o público do palco, assim favorecendo uma maior captação sonora dos espectadores. Os autores (2006, p. 22) esclarecem que embora os problemas acústicos estivessem muito presentes ao cotidiano da humanidade, foi somente no início do século 20 que Wallace C. Sabine, em pesquisas na Universidade de Harvard (EUA), conseguiu estabelecer princípios fundamentais para o controle de ruído interno e sistematizar a Acústica contemporânea.

De acordo com Bistafa (2011, p. 6) Acústica é a ciência do som que estuda a sua geração, transmissão e efeitos.

No caso do som, De Marco (1982, p. 9) define como “uma perturbação que se propaga nos meios materiais e é capaz de ser detectada pelo ouvido humano”, colaborando com Bistafa (2011, p.5) que tem por definição de som a “sensação produzida no sistema auditivo”. Souza *et al* (2006, p. 26) e a NBR 16313:2014 - Terminologia, definem som como “flutuações de pressão em torno da pressão ambiente nas frequências compreendidas entre 20 Hz e 20KHz.” Ficando evidente o consenso dos autores de que som é a vibração de moléculas, que se propagam em meio elástico e que pode ser percebido pelo ouvido humano.

A NBR 16313:2014 - Terminologia (2014, p. 2) também especifica a definição de outros onze tipos de sons além da definição geral, descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipos de sons definidos pela NBR 16313:2014 – Terminologia.

Tipo de som	Definição
Som aéreo	É aquele que se propaga pelo ar.
Som total	É junção de diversas fontes sonoras em determinada situação.
Som específico	É o som que se pode identificar a fonte de emissão.
Som residual	É o som remanescente do som total quando suprimido o som específico em alguma situação exemplificado pela Figura 2.
Som intrusivo	Refere-se a um som que é alheio ao objeto de medição.

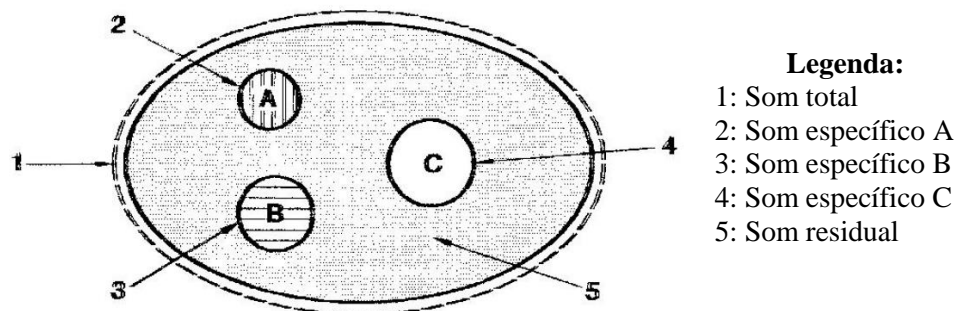
Continua

Tabela 1 – Tipos de sons definidos pela NBR 16313:2014 – Terminologia.

Tipo de som	Definição	Conclusão
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	É o som que é constante e não é o som intermitente nem o som impulsivo.	
Som flutuante	É a variação no nível de pressão sonora durante o período de observação.	
Som tonal	Definido por ser uma componente de destaque em relação a outras, que pode ser uma banda estreita ou uma única componente de frequência.	

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em NBR 16313 – Terminologia (2014, p. 2.).

Figura 2- Relação de três sons específicos, som residual e som total.



Fonte: NBR 16313:2014 - Terminologia (2014, p. 2).

Já o ruído é definido por Gerges (2000, p. 41) como um “som desagradável e indesejável” assim como Bistafa e De Marco (2011, p. 17. 1982, p. 51) definem como um “som sem harmonia e indesejável ao receptor.” Bistafa (2011, p. 17) defende que o ruído embora indesejável tem sua utilidade, como transmitir informações, exemplo disso é o caso de eletrodomésticos que avisam quando determinada tarefa foi cumprida, velocidade de automóveis, entre outros. Por isso a acústica normalmente se propõe ao controle de ruído e nem sempre a eliminação total de sons desagradáveis. GERGES (2000, p. 42) explica que em função do ouvido humano ser um sistema bastante apurado e seletivo, ele interpreta os sons, e a análise do que é ouvido ainda é um processo muito subjetivo e não totalmente esclarecido pela literatura.

A NBR 16313:2014 - Terminologia (2014, p. 3) também designa nove tipos de ruído, mostrados na Tabela 2.

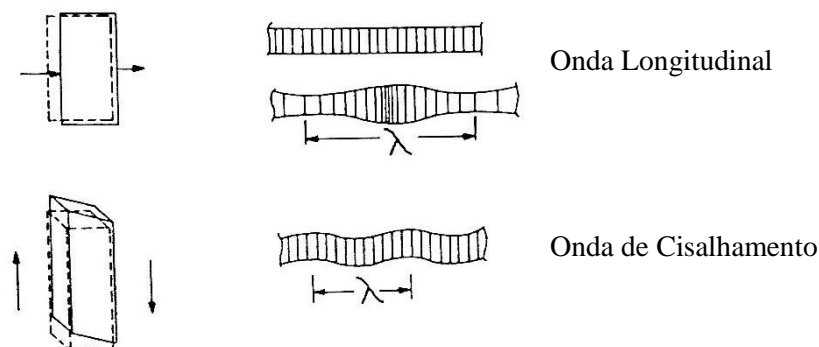
Tabela 2 – Tipos de ruído definidos pela NBR 16313:2014 – Terminologia.

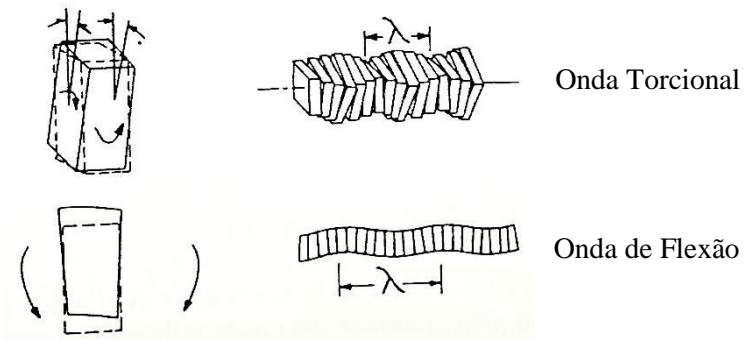
Tipo de ruído	Definição
Ruído de fonte específica	Caracterizado por existir em determinada situação.
Ruído industrial	Oriundo de atividades relativas a indústria.
Ruído hidrossanitário	Característico nas instalações hidráulicas, sanitárias e pluviais.
Ruído aeroviário	Proveniente do tráfego de aeronaves.
Ruído aquaviário	Derivado do tráfego de embarcações.
Ruído ferroviário	Resultante da circulação de composições férreas.
Ruído metroviário	Proveniente do tráfego de veículos sobre trilhos.
Ruído rodoviário	Oriundo da circulação de veículos sobre rodovias.
Ruído de tráfego urbano	Caracterizado pela circulação de veículos (Leves ou pesados) em vias públicas urbanas.

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em NBR 16313 – Terminologia (2014, p. 3).

Gerges (2000, p. 5) comenta que a propagação do som aéreo ocorre em “forma de ondas esféricas a partir de uma fonte pontual, sendo possíveis dois modos de interferência na trajetória das ondas: a primeira é a presença de obstáculos, e a segunda é a não isonomia do meio, que pode ser causada por ventos ou amplitudes de temperatura”. Silva (2009, p. 57) explica que a propagação de uma onda acústica no ar se dá por ondas do tipo longitudinal e nos sólidos por ondas de vários tipos, tais como: longitudinal, cisalhante, torcional e de flexão, exemplificadas por Gerges (2000, p. 189) na Figura 3.

Figura 3 – Tipos de ondas nos sólidos

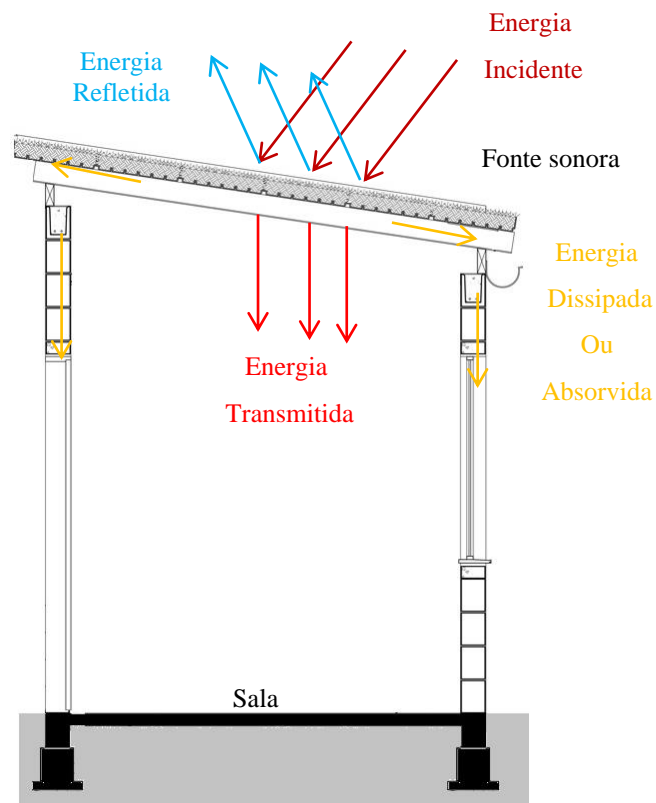




Fonte: GERGES (2000, p. 189).

De acordo com Gerges (2006, p. 189), nenhum elemento se comporta como obstáculo preciso. Pois ao estar sofrendo influência de alguma vibração, põe-se, de maneira invisível, a vibrar. Assim, a própria vibração produz ondas sonoras aos ambientes, ocorrendo transmissão de som entre recintos, neste caso de forma direta. Da mesma forma De Marco (1982, p. 26) explica que é como se o elemento divisor, “absorvesse” parte do som. Na verdade parte desta energia será dissipada como calor, a segunda parte será refletida à fonte, e uma terceira parte fará vibrações no ar no lado oposto, conforme Figura 4, fazendo da parede uma fonte de emissão de som, só que com menos intensidade que a fonte original.

Figura 4 – Esquema da incidência de ondas sonoras em uma cobertura.



Fonte: Autora, 2016.

Nos ambientes industriais é comum a ação não só de ruídos aéreos, mas também do ruído de impacto causado pela queda da chuva. Os estudos relativos a impacto das gotas de chuva em telhados metálicos foi iniciado por Doubot (1968, p. 144) que tentou determinar a magnitude do ruído produzido pelo impacto da chuva natural num telhado de aço galvanizado, típico das casas australianas, sem adição de amortecimento. Neste estudo ele verificou que o espectro sonoro variava em função da inclinação do telhado, das juntas, da massa por unidade de área, da rigidez e amortecimento dos materiais, o que deixou lacunas para o estudo de impacto de chuva em telhados.

Mais tarde, Ballagah (1990, p. 245) propôs um método de medição do ruído de chuva em telhados com a utilização de um dispositivo de chuva artificial, onde comparava diferentes tipos de telhados. Mas as características da "chuva" gerada não foram claramente definidas.

Em seguida, McLoughlin (1994, p. 255) fez ensaios de absorção de impacto da água da chuva em telhas metálicas de alumínio, em formato trapezoidal. No experimento concluiu que os maiores isolamentos são obtidos se a superfície de topo for de amortecimento, por exemplo, usando algum metal plastificado ou emborrachado, ou se houvesse camadas de massa intermediárias localizadas perto da superfície da telha em vez de perto da superfície inferior da estrutura.

Barry (2000, p. 1) também propôs um simulador de gotas, agora com um aparelho capaz de gerar uma precipitação de chuva padronizada e repetível, com características semelhantes às de chuva natural a área real considerável de tipologias de telhados envolvidas.

Mais tarde, Carter (2008, p. 1) e Balagah e Griffin (2012, p. 221) propuseram não apenas um simulador de chuva, mas um aparelho capaz de controlar quantidade e intensidade da chuva, assim como tamanho e formatos de gotas. A teoria apresentada por Balagah (2012, p. 221) fornece um modelo de engenharia razoavelmente robusto que não depende de técnicas computacionais caros ou simulação de computador longa.

Em relação à Normativa para avaliação de ruído de chuva, está vigente a ISO 10140-5:2010/Amd 1:2014 - *Rainfall sound* que “especifica instalações de teste de laboratório e equipamentos para medições de som isolamento de elementos de construção, tais como componentes e materiais, elementos de construção, elementos técnicos (elementos pequeno prédio) e sistemas de melhoria de isolamento de som”.

2.1.1 Absorção Sonora

De acordo com a NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho (2015 p. 2), absorção acústica é a “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”. O que significa, segundo Gerges (2000, p. 314) que ao entrar em contato com algum objeto concreto, a energia acústica incide nos poros do material, e o objeto tende a vibrar, dissipando energia da onda sonora, por isso os materiais absorvedores devem ter células abertas.

O fator que propicia a dispersão da onda sonora é a fricção ocasionada dentro do material. Portanto os materiais que possuem fibras ou poros de deslocamento do ar costumam ser os melhores absorvedores de som, pela sua enorme quantidade de área de interação disponível.

Gerges (2000, p. 386) comenta que em baixas frequências os materiais absorvedores tem baixa eficiência, pois o desempenho Sendo assim, há a possibilidade da utilização de dispositivos de absorção, que segundo Bistafa (2011, p. 251) são elementos com cavidades (ressonador de cavidade/ Helmholtz), perfurações (Placas perfuradas) ou maleabilidade (membranas) adequadas para absorver sons em diferentes frequências.

Dentro os dispositivos de absorção, tem-se o ressonador de Helmholtz, que é um sistema fechado dotado de uma cavidade de ar e abertura voltada para o ambiente, onde o som depende da espessura, densidade e estrutura do material. entra pela abertura e o atrito com o ar junto às paredes internas faz o efeito de absorção. Há também os painéis ressonantes que são elementos que não são rígidos. Na prática trata-se de um painel de madeira, plástico ou metal, fixado a uma distância determinada de uma divisória (parede ou teto) rígida. Já os painéis perfurados servem para proteger mecanicamente de sujidades o material absorvedor ou podem atuar em conjunto com outros dispositivos de absorção, como por exemplo, ser aplicados para execução do ressonador de Helmholtz ou de um painel ressonante (GERGES, 2000, p. 363; BISTAFA, 2011, p. 256).

Em relação aos materiais absorvedores, atualmente existe diversidade de materiais porosos e fibrosos que são absorvedores do som, dentre eles os mais usados são as lãs minerais, espumas, tecidos e madeira.

As lãs minerais podem ser lã de vidro, lã de rocha ou lã de Pet. A lã de vidro é um material fibroso, composto por sílica e o sódio, que passa por processo de centrifugação formando fios finos, que são aglomerados com resina sintética, a qual possui componentes

voláteis. Comercialmente está disponível em forma de painéis, mantas, feltros, cordões ou em processos de jateamento. Porém, a lã de vidro é um material combustível, mas que se receber resina fenólica com aditivo anti-chama pode resistir até 540 °C. Já a lã de rocha é obtida pela fusão de diversos tipos de rochas que são transformadas em fibras por centrifugação e depois são aglomeradas com resinas e aditivos. Uma das características deste material é seu bom desempenho a flamabilidade (GERGES, 2000, p. 343). Por fim há também a lã de Pet que é feita de 100% poliéster, material reciclável, com características semelhantes à lã de rocha.

Quanto às espumas, elas são materiais porosos, o que significa que são bons absorvedores, pois os poros são contínuos. Em contra partida pode haver contaminação destes poros e bloqueio dos mesmos, diminuindo assim a absorção acústica.

Há também a vermiculita expandida, que basicamente é um mineral, cuja composição química é de silicatos hidratados de alumínio e magnésio. Sua aplicação se dá por meio de jateamento em camadas.

Bistafa (2011, p.234), afirma que “os principais mecanismos de absorção sonora não existem nos materiais sólidos, pois estes não permitem que as moléculas de ar interajam com a sua estrutura”. O Quadro 1 mostra os coeficientes de absorção sonora de diversos materiais e revestimentos que usualmente são empregados na construção civil.

Quadro 1 – Coeficientes de absorção sonora de materiais e de revestimentos de superfícies.

Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1KHz	2KHz	4KHz
Alvenaria de tijolos aparentes não-pintados	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,07
Alvenaria de tijolos aparentes pintados	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03
Reboco liso sobre alvenaria de tijolos ou blocos	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Alvenaria de blocos aparentes pintados	0,01	0,05	0,06	0,07	0,09	0,08
Reboco ou gesso rústico sobre quaisquer alvenarias	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Concreto ou cimentado liso desempenado	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Concreto aparente, tratado e polido	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Azulejos ou pastilhas	0,02	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05
Mármore, cerâmica ou granito polido	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Painel de cortiça sobre qualquer alvenaria	0,04	0,05	0,05	0,08	0,10	0,13
Assoalho em tábua corrida, com espaço livre até o contrapiso	0,40	0,30	0,20	0,17	0,15	0,10
Tacos de madeira colados sobre contrapiso	0,04	0,04	0,07	0,06	0,06	0,07

Continua

Quadro 1 – Coeficientes de absorção sonora de materiais e de revestimentos de superfícies.

Material	Conclusão Frequência central da banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1KHz	2KHz	4KHz
Carpete tipo forração simples, colado sobre contrapiso	0,05	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
Carpete tipo forração alto-tráfego	0,05	0,10	0,15	0,30	0,50	0,55
Carpete de náilon de 6mm sobre manta de feltro	0,05	0,10	0,10	0,30	0,40	0,50
Carpete de náilon de 10mm sobre manta de feltro	0,05	0,15	0,30	0,40	0,50	0,60
Carpete tipo forração simples, colado sobre contrapiso	0,05	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
Paviflex ou plurigoma, colado sobre contrapiso desenhado	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02
Cortina de tecido leve, esticada, em contato com a parede	0,03	0,04	0,11	0,17	0,24	0,35
Cortina de tecido médio, drapeada, em 50% da área	0,07	0,31	0,49	0,75	0,70	0,60
Cortina de tecido pesado, drapeada, em 50% da área	0,14	0,35	0,55	0,72	0,70	0,65
Superfície de água (Piscinas, espelhos d'água, etc.)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02
Vidro fixo, temperado ou laminado, com grande superfície	0,18	0,06	0,04	0,03	0,02	0,02
Vidro comum montado em caixilho	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Divisória de gesso tipo dry-wall com ou sem enchimento	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Divisória de lambris de madeira compensada	0,58	0,22	0,07	0,04	0,03	0,07
Lambris tipo macho-fêmea, contra a parede	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Forro de gesso acartonado sem enchimento	0,10	0,08	0,05	0,03	0,03	0,03
Assoalho de tábua corrida sobre contrapiso	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07
Porta de madeira comum, pintada ou envernizada	0,24	0,19	0,14	0,08	0,13	0,10
Porta acústica, com faces de madeira, pintadas.	0,15	0,11	0,10	0,07	0,06	0,07

Fonte: Bistafa, 2011, p. 248)

Porém, Bistafa não demonstra valores de materiais ou elementos que sejam aplicados em coberturas metálicas. Cook (1980, p. 1) comenta que muitas vezes, pouca atenção é dada à capacidade do sistema de cobertura para fornecer isolamento acústico adequado do interior do edifício a partir de ruídos externos aéreos. O que, no caso de coberturas metálicas, seria de grande importância, já que atualmente o campo de aplicação desta tipologia de telhado se estende desde pequenas obras, até obras industriais ou construções voltadas ao público, onde a inteligibilidade de palavra é importante, como centros de convenções/culturais, centros esportivos, escolas entre outros. Também porque o custo de produção desta classe de atividades é muito alto, e a baixa qualidade acústica acarreta grandes prejuízos quando em cada evento devem-se corrigir deficiências acústicas ou quando pessoas sofrem com a incidência de ruídos (GERGES & CUSTÓDIO, 2006, p. 1).

Devido ao Quadro 1 (BISTAFA, 2011, p. 236) não apresentar valores de materiais aplicáveis em coberturas, houve a necessidade de buscar os coeficiente de absorção sonora específicos destes materiais. Onde a partir de Laudos ou informações fornecidos por fabricantes têm-se o Quadro 2.

Quadro 2 – Coeficientes de absorção sonora de materiais.

Material ou Elemento	Frequência central da banda de oitava (Hz)						NRC
	125	250	500	1KHz	2KHz	4KHz	
Telha de aço Galvanizado [2]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Chapa de aço [2]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Lã de Vidro 5 cm / 50 kg/m ³ [4]	0,18	0,59	1,00	1,00	1,00	0,99	0,89
Lã de Rocha 5 cm / 40 kg/m ³ [4]	0,26	0,63	0,96	1,00	1,00	0,92	0,89
Poliestireno Expandido (EPS) [3]	0,05	0,15	0,5	0,4	0,35	0,2	0,35
Poliuretano (PU) esp. 2,5 cm [4]	0,16	0,25	0,45	0,84	0,97	0,87	0,62
Gesso cartonado 13 mm, 10 cm de caixa de ar [4]	0,08	0,11	0,05	0,03	0,02	0,03	0,05
Gesso cartonado 26 mm, 5 cm de caixa de ar e lã mineral [4]	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05	0,06
Gesso cartonado 13 mm, 10 cm caixa de ar e lã mineral [4]	0,30	0,12	0,08	0,06	0,06	0,05	0,08
Forro em fibra lenhosa 20mm [5]	0,25	0,30	0,30	0,40	0,55	0,60	0,38
Forro de PVC [1]	0,18	-	0,98	-	0,5	-	0,65

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em [1] Bolognesi (2008, p. 84) , [2] Rodrigues (2009, p. 53), [3] Acoustic Traffic (2015), [4] Logacustica (2016) e [5] Zannin (2009, p. 130).

Em análises experimentais Gerges & Custódio (2006, p. 10) concluíram que determinado centro de convenções multiuso não apresentava o conforto acústico necessário para os propósitos de realização de concertos musicais, devido a acústica ambiente não estar incorporada no empreendimento desde a fase de projeto, onde o ruído do entorno não foi considerado e os materiais especificados apresentavam valores de absorção abaixo de 10%, o que significa dizer que 90% do som incidente sobre os materiais eram refletidos no ambiente. Da mesma maneira Ribas *et al* (2012, p. 547) analisou o desempenho acústico de painéis multicamadas para fechamento, dentre eles painéis de EPS (revestido por argamassa) + Lã de vidro + Ar + EPS e EPS + Ar + EPS, onde o acréscimo da lã de vidro na segunda amostra praticamente não influenciou no tempo de reverberação e todos os painéis ensaiados superaram 0,5s de TR, que era o máximo recomendado para o quarto analisado.

Quando se fala em absorção sonora de materiais, pretende-se encontrar o coeficiente de absorção do material em caso. A medição deste pode ocorrer em tubo de impedância ou em câmaras reverberantes, que é o caso deste trabalho.

O objetivo da medição do coeficiente de absorção em câmara reverberante é a obtenção do tempo de decaimento do nível de pressão acústica na câmara, com e sem a amostra de material. Para obter a velocidade de decaimento de um som emitido por uma fonte sonora no interior de um determinado ambiente fechado, usa-se o tempo de reverberação (TR), que, de acordo com a NBR 12179:1992 - Tratamento acústico em recintos fechados - Procedimento, é o tempo necessário para que um som deixe de ser ouvido, após a extinção da fonte sonora, expresso em segundos. Segundo Bistafa (2011, p. 258) o tempo de reverberação é medido como o tempo necessário para que o som sofra um decréscimo de 60 dB.

Newmann ([1989?], p. 29), menciona que “quando materiais porosos são colocados em um recinto, a energia refletida é grandemente reduzida, e o som morre rapidamente, em vez de sofrer reflexões múltiplas nas superfícies envolventes”. Deste modo, pode-se dizer que o som que foi refletido teve uma reverberação curta. Newmann ([1989?], p. 29), complementa que “em superfícies altamente refletoras, o som continua a refletir de uma superfície a outra com pouco mais de perda apreciável do que aquela ocorrida quando a energia sonora se reflete”. Assim diz-se que o recinto possui um tempo de reverberação longo.

Segundo a NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, a determinação do coeficiente de absorção em câmara reverberante se dá pela aplicação da Norma ASTM C423 - *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*. Gerges (2000, p. 326) explica que assim determinará os efeitos do material no tempo de reverberação de uma câmara reverberante. Pois na câmara reverberante, devido à geometria da mesma, principalmente em função do não paralelismo das paredes, das superfícies reflexivas e a presença de elementos difusores, é possível simular um campo sonoro difuso, definido por Gerges (2000, p. 269) como um campo sonoro onde o nível de pressão sonora é uniformemente distribuído em qualquer direção ou posição na câmara.

Há duas Normas para cálculo de absorção sonora, a ASTM C423 - *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method* e a ISO 354:2003 - *Measurement of sound absorption in a reverberation room*. Comparadas por Bischel (2008, p. 1671) no Quadro 3.

Quadro 3 – Comparação da ASTM C423 com a ISO 354

Propriedades	ASTM C432	ISO 354
Volume Mín. da Câmara	125 m ³ ≥ 200 m ³ recomendado	150 m ³ ≥ 200 m ³ recomendado
Volume Máx. da Câmara	Não estipulado	500 m ³
Temperatura e umidade	≥ 40% UR	30% UR – 90%UR e T ≥ 15°C
Tamanho Mín. da Amostra	5.57 m ²	10 m ²
Tamanho Máx. da Amostra	Não estipulado	12 m ²
Tamanho Recomendado de Amostra.	5,57 m ² (mínimo) *Atentar para a razão entre os lados da amostra.	12 m ² * Se o volume da sala for > 200m ³ , então o tamanho da amostra aumentará para (V/200) ^{2/3}
Espaço de ar da amostra	400 mm Outros valores permitidos, especificado nos itens 1,3 e 5 da Norma.	Recomendado: 400 mm (América do Norte) 200 mm (Europa) 300 mm (Japão) [4]
Alcance de Frequência testado	100 – 5000 Hz	100 – 5000 Hz
Atraso para o início do calculo	100 – 300ms depois o sinal é desligado	Depois um 5dB queda do nivel
Alcance dos cálculos	25dB nível de decaimento (coletados por 6s)	20dB nível de decaimento
Ruído do fundo	≥ 45dB	≥10dB
Nº de Posições de fonte	≥1	≥2
Posição da amostra	Assimétrico; Distância ≥ 0.75m de qualquer superfície reflexiva.	Assimétrico; Distância ≥ 0.75m de qualquer superfície reflexiva.
Numero mínimo de posições de microfone	≥ 5 (<i>fixos</i>) Distância ≥ 0.75m de qualquer superfície reflexiva e distantes no mínimo 1.5 m entre si.	≥ 3 (<i>fixos</i>) Distância ≥ 1m de qualquer superfície reflexiva e da amostra; distantes no mínimo 1.5 m entre si e no mínimo à 2m da fonte.
Numero mínimo de curvas de decaimento coletadas	50 (≥10 por microfone)	≥12
Numero de espectros coletados durante os testes	60 (<i>10 para cada microfone</i>)	60 (<i>10 para cada microfone</i>)
Valores Relatados	SAA: Media para (12) 1/3 de bandas de oitava, nas frequências de 200 – 2500 Hz arredondado para 0.01.	α_w : calculo requerido.

Fonte: Bischel (2008, p. 1671), (Tradução nossa).

Segundo a Norma ASTM C423, para determinação do NRC (Coeficiente de absorção sonora) aplica-se a fórmula de Sabine (Eq. 1). Assim encontra-se o índice de absorção (A)

para cada frequência medida. Esta equação deve ser aplicada para as medições com a câmara vazia (A_1) e com a amostra posicionada (A_2).

$$A = 0,9210 \frac{Vd}{c} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

A = Área de absorção do som, m^2 ,

V = Volume da câmara reverberante, m^3 ,

c = Velocidade do som, m/s

d = Taxas de decaimento, dB/s .

Aqui é possível de visualizar que a ASTM C 423 considera para o cálculo as taxas de decaimento (dB/s) em cada frequência, enquanto que a ISO 354 utiliza o TR.

Em seguida faz-se a subtração dos resultados da câmara com a amostra (A_2) pelos resultados da câmara vazia (A_1), conforme Eq. 2.

$$A = A_2 - A_1 \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

A = Área de absorção da amostra, m^2 ,

A_1 = Área de absorção da câmara vazia, m^2 ,

A_2 = Área de absorção da câmara com a amostra, m^2 .

Depois, calcula-se o para cada frequência ensaiada o coeficiente de absorção sonora. Nesta etapa os valores devem ser arredondados o mais perto possível de 0,01, de acordo com Eq. 3.

$$\alpha = (A_2 - A_1) / S + \alpha_1 \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

α = Coeficiente de absorção,

S = Área da amostra, m^2 ,

α_1 = Coeficiente de absorção com a amostra.

A norma comenta que o coeficiente de absorção (α_1) da superfície da sala deve ser adicionado quando for significativo. Por isso, os coeficientes de absorção de uma superfície lisa, dura e rígida, como um chão da sala de reverberação, são tão pequenos que eles podem ser negligenciados. Utilizando uma maneira mais simples, conforme Eq. 4.

$$\alpha = (A_2 - A_1)/S \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

$A_2 - A_1$ = Área de absorção do teste,

S = Área da amostra, m².

É comum também a absorção sonora de algum material ser quantificada pelo coeficiente de redução sonora (NRC), que de acordo com Bistafa (2006, p. 238) é a média aritmética dos coeficientes de absorção sonora das bandas de oitava entre 250 Hz a 2 KHz, arredondando o mais próximo de 0,05 do material. É calculado conforme Equação 5.

$$\text{NRC} = \frac{1 [\alpha (250\text{Hz}) + \alpha(500\text{Hz}) + \alpha(1000\text{Hz}) + \alpha(2000\text{Hz})]}{4} \quad (\text{Eq. 5})$$

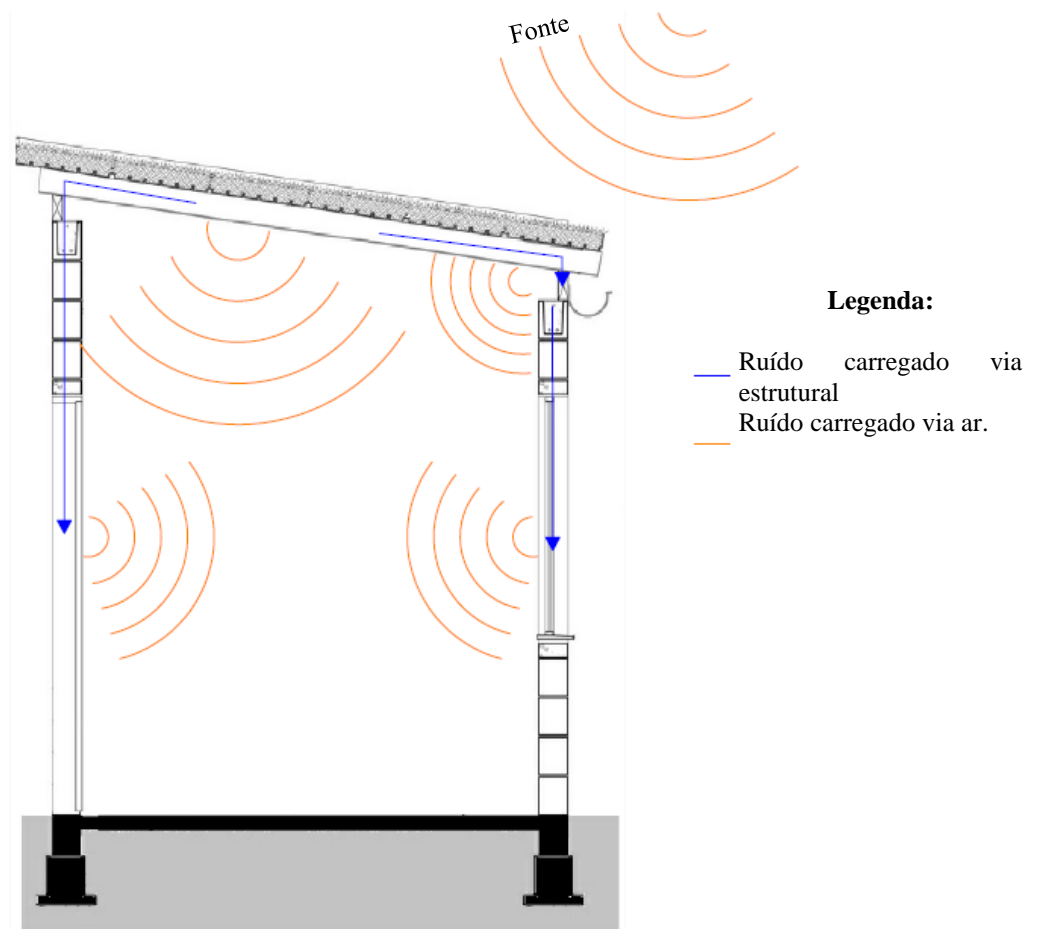
O NRC corresponde a um único número para descrever as características de absorção de um material, sendo que seus valores servem para fins de referência gerais, sendo de grande utilidade numa primeira análise comparativa. No geral, materiais com $\text{NRC} \leq 0,20$ são considerados de reflexão, enquanto aqueles com $\text{NRC} \geq 0,40$ são considerados de absorção.

2.1.2 Isolamento sonoro

Gerges (2000, p. 187) comenta que “o isolamento de ruído fornecido por paredes, pisos, divisórias ou partições, é apenas uma maneira de atenuar a transmissão da energia sonora entre ambientes.” Méndez *et al* (1994, p. 105) explica que a transmissão de ruído entre ambientes ocorre por via aérea que é quando a fonte de ruído atua no ar, ou via estrutural que é quando a fonte geradora de ruído é uma vibração gerada na estrutura, este tipo de transmissão depende das características dos elementos construtivos, e de como são feitas as ligações com os demais elementos da construção, sejam estruturais ou instalações em geral.

No caso das coberturas, a transmissão de som pode ocorrer via estrutural, pois a estrutura costuma estar diretamente ligada ao restante da edificação e via aérea, por ser um elemento de separação entre o ambiente interno e externo, ou por ter frestas que possam vaziar sons. O elemento cobertura envolve todos os caminhos possíveis para a transmissão de som conforme demonstra Figura 5.

Figura 5 – Esquemática da transmissão de energia sonora entre meios.



Fonte: Autora, 2016.

De acordo com Souza *et al* e Faria (2006, p.84; 2009, p. 62) há variáveis que interferem no nível de ruído transmitido, de acordo com as faixas de frequências. Os autores consideram “a importância da massa do material, variar conforme a frequência sonora que se quer corrigir, onde para sons graves, o aumento da massa é menos eficiente do que para sons agudos”. Com isso, conclui-se que sons de alta frequência são mais fáceis de serem isolados do que os sons de baixa frequência. Cada espessura tem uma frequência de ressonância diferente, daí a importância de conhecer antecipadamente as fontes sonoras e suas frequências no entorno de onde as telhas ou painéis sanduíche serão instalados.

Os materiais sanduíche, que são definidos por Faria (2009, p. 63) como um material unido a outros materiais de naturezas diferentes, combinados em escala macroscópica, com a finalidade de funcionarem como uma unidade visando obter um conjunto de propriedades que nenhum dos componentes individualmente apresenta, deve-se considerar como uma parede simples, quando não houver separação entre as camadas. A sua redução sonora pode ser quantificada pelo índice de redução sonora através da fórmula da lei da massa, expressa pela Equação 6.

$$R = 20 \cdot \log_{10} (f \cdot m) - 43 \text{ [dB]} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

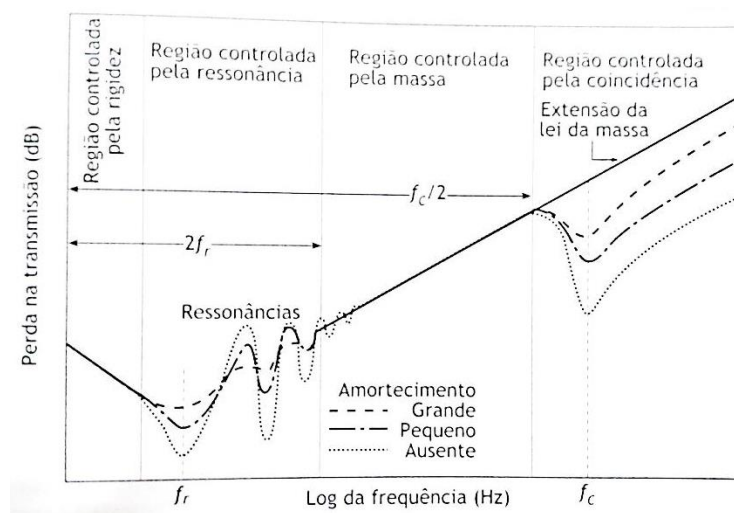
R = Índice de redução sonora, dB;

m = Massa por unidade de área, kg/m²;

f = Frequência, Hz.

Silva (2009, p. 58) comenta que a perda de transmissão sonora em painéis sanduíche é aprimorada com o aumento da densidade do núcleo de acordo com figura 6.

Figura 6 - Isolamento sonoro de uma parede simples



Fonte: Bistafa (2011, p. 279).

Onde na região $2f_r$ a PT (Perda de Transmissão) é controlada pela ressonância e rigidez à flexão e nas frequências muito baixas, é observado um fenômeno inverso à lei da massa, já que a PT diminui 6 dB com a duplicação. Na segunda região, onde a PT é

determinada pelo amortecimento do painel são visíveis quedas na *PT* devido às primeiras frequências de ressonância do painel. Já na terceira região, que é controlada pela massa, o elemento apresenta um aumento de 6 dB na *PT* a cada duplicação da massa superficial do painel (BISTAFA, 2011, p.282).

O mesmo autor explica que em câmara reverberantes, onde é possível criar um campo sonoro difuso, as ondas sonoras formam diversos ângulos em relação ao elemento, o que pode levar ao fenômeno da coincidência, que causará queda na *PT*. Da mesma maneira a região controlada pela ressonância sofrerá influência pelo amortecimento do material. A frequência de coincidência ou frequência crítica (f_c), de painéis sanduíche pode ser calcular conforme Equação 7.

$$f_c = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{4E_n}{e_n \left(2 \cdot \rho_p \cdot e_p + \frac{\rho_n \cdot e_n}{3} \right)}} \text{ Hz} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde:

f_c – Frequência crítica, Hz;

E_n – Módulo de elasticidade do núcleo, MPa;

e_n – Espessura do núcleo, m;

e_p – Espessura das placas, m;

ρ_n – Densidade do núcleo, kg/m³;

ρ_p – Densidade das placas, kg/m³.

Logo, é interessante ver que o aumento da rigidez deste, a coincidência antissimétrica é deslocada para frequências mais altas e a coincidência simétrica é deslocada para frequências mais baixas. Na prática o efeito da ressonância simétrica é observado em painéis sanduíches com núcleo compressível, confeccionados em espumas poliméricas que é o caso do EPS.

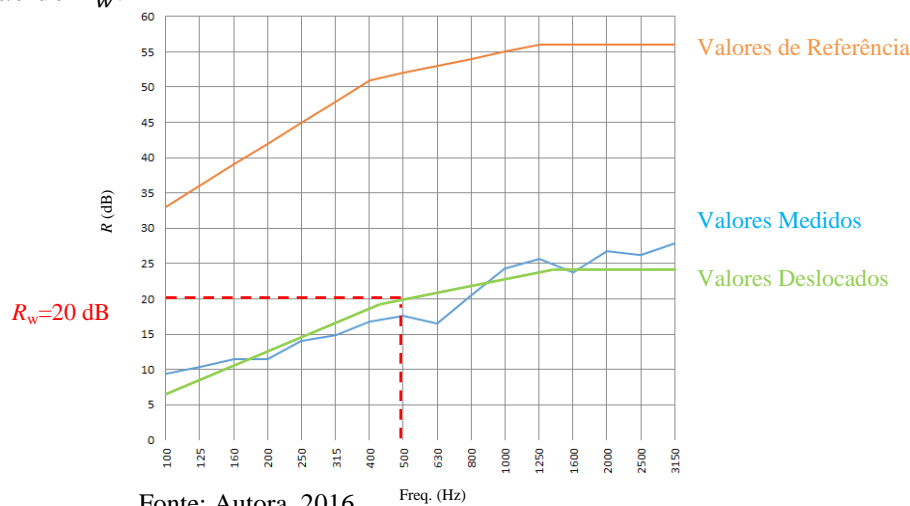
Gerges (2000, p. 190) explica que para quantificar o isolamento de uma partição ou material é utilizada a grandeza chamada perda de transmissão (*PT*), expressa em escala logarítmica (dB), que é o inverso do coeficiente de transmissão sonora. “Esta grandeza é baseada somente na razão das energias acústicas, incidente e transmitida, independentemente dos ambientes”. Para o Autor é conveniente utilizar-se de um número único para especificar a capacidade de isolamento sonoro de um elemento em detrimento de uma curva com o índice de redução sonora *R* do elemento em cada banda de 1/3 de oitava. Geralmente as normas de isolamento sonoro têm seus parâmetros definidos através de números únicos, em decibel (dB),

sendo justificável a utilização de números únicos para quantificar a perda de transmissão (Hopkins, 2007, p. vi).

A perda de transmissão sonora de um elemento em laboratório pode ser quantificada, em um número único, através de duas grandezas, o índice de redução sonora ponderado (R_w), e a classe de transmissão sonora (STC). As duas grandezas classificam a perda de transmissão sonora através de um número único e possuem procedimentos para a obtenção deste bastante parecidos. A principal diferença entre os parâmetros anteriormente descritos é a faixa de frequências abrangida – na STC compreende as bandas de 1/3 de oitava com as frequências centrais de 125 a 4000 Hz e no R_w de 100 a 3150 Hz. A NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, recomenda que seja utilizado o R_w que deve ser calculado conforme ISO 717-1.

A ISO 717-1:2013 expõe o modo de obter o índice de redução sonora ponderado, R_w , exigido pela NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, utilizando os valores dos índices de redução sonora, R , medidos em cada banda de frequência, durante as medições de perda de transmissão sonora para ruído aéreo. A ISO 717-1:2013 indica um método comparativo entre a curva de isolamento sonoro medido e a curva de referência. A curva de referência deve ser deslocada de 1 dB em 1dB em direção à curva medida até que a soma dos desvios desfavoráveis seja o maior possível, e não ultrapasse 32 dB. Os desvios desfavoráveis ocorrem quando o valor medido em determinada frequência for inferior ao valor de referência. Consequente a este processo o número único do índice de redução sonora ponderado, R_w será obtido na frequência de 500 Hz na curva de referência, conforme exemplo da Figura 7.

Figura 7 – Espectro da perda de transmissão sonora e curva de referência para determinação do R_w .



Fonte: Autora, 2016.

2.1.3 Poluição Sonora e a qualidade de vida

Zanin *et al* (2005, p. 1) apontam que 74% da população de uma amostragem, na cidade de Curitiba – PR, sentem-se incomodados pelo ruído, dado muito semelhante aos apresentados por Baring *et al* (2012, p. 909) em estudo onde se fez uma amostragem do incomodo da poluição sonora na cidade de Belo Horizonte – MG. Na publicação consta que 70% das reclamações eram relativas a ruídos, mesmo a localidade possuindo leis que garantam o sossego, nas esferas municipal, estadual e federal. Foi constatado ainda que as leis municipais e estaduais eram menos exigentes, no que diz respeito aos limites máximos permissíveis de ruídos, em relação a lei federal, o que não deveria acontecer.

Com o propósito de elaborar um mapa de ruído da cidade de Belém - PA, Moraes *et al* (2008, p. 1) fizeram a atualização do mapa de ruído existente e onde se constatou que na maioria das vias atualizadas os índices sonoros eram acima de 65dB o que segundo a Bistafa (2011, p. 32) poderiam ser caracterizados como locais de barulho moderado a muito barulhentos.

Kruger e Bortoli (2002, p. 1031) diagnosticaram a poluição sonora na região central de Curitiba – PR. Nas análises foi constataram que os níveis sonoros aumentaram significativamente se comparados aos dados anteriormente coletados em 1992. A poluição sonora foi aumentada principalmente em função do tráfego de veículos na região urbana, tráfego proveniente do crescimento da cidade e seu entorno.

Mendonça *et al* (2010, p. 1) analisaram o ruído de tráfego no centro da cidade de Santa Maria – RS. Onde concluiu que os valores encontrados estão acima dos estabelecidos pela NBR 10.151/2000 e pelo Código de Posturas da cidade, inclusive em horários noturnos e em finais de semana.

Esta pequena amostra de quatro cidades de diferentes regiões do Brasil, mostra o quão presente a poluição sonora está na vida das pessoas, onde em regiões distintas e cidades de porte diferentes os problemas se repetem e conseqüentemente atingem pessoas das mais diversas classes sociais ou idade. A poluição sonora causada pela vida moderna é uma fonte de incomodo consensual (SLAMA *et al*, 2004, p. 1).

Paixão (2012, p.141) comenta que “as pessoas tendem a considerar o ruído urbano uma decorrência normal da urbanização e cujo controle não é possível de ser feito”. A autora adverte que este comportamento deve ser modificado, assim como Moraes (2009, p. 1) adverte que “a poluição sonora não pode ser vista apenas como um problema de desconforto acústico, uma vez que a mesma passou a constituir um dos principais problemas ambientais

dos grandes centros urbanos”. Zanin *et al* (2009, p. 1) lembra que em função de o ruído ambiental “contaminar” a vida das pessoas, é necessário mais estudos na área, pois afeta não apenas psicologicamente os humanos, mas fisiologicamente também. O ruído é um poluente invisível que, contínua e lentamente, vai agredindo os indivíduos, causando-lhes danos tanto auditivo como em todo o organismo.

Slama (2004, p. 1) comenta que além da perda auditiva decorrente da exposição a níveis de ruído elevados, outros malefícios são observados, como o stress e o desenvolvimento ou agravamento de doenças orgânicas e funcionais, ou ainda o desvio de atenção ou falta de concentração. Confirmado por Zanin *et al* (2009, p. 1) que detectou a irritabilidade e a insônia como reações a poluição sonora. Ficando clara a afetividade do ruído na qualidade de vida das pessoas.

Segundo Paixão (2002, p. 58) a acústica está diretamente ligada ao cotidiano das pessoas, por isso não se deve desvincular ambiente ruidoso de cidadania, e justamente por isso, deve haver um esforço, do meio técnico, para que o público em geral assimile que conforto acústico é intrínseco a qualidade de vida, e não sinônimo de supérfluo.

2.2. TELHADOS

2.2.1 Definição

Considerando que boa parte da envoltória de um edifício é composta pela cobertura, é importante esclarecer alguns termos em relação às cobertas de edificações.

O telhado é um conjunto formado por uma trama, estrutura principal (tesouras ou treliças) e contraventamentos. Conforme define Moliterno (1997, p. 1) os telhados têm a função de “proteger o edifício contra ações das intempéries climáticas, tais como chuvas, ventos, raios solares, neve, além de impedir a penetração de poeira e ruídos no seu interior”. Melo (2011, p. 6) complementa que o telhado também desempenha função estética e pode gerar conforto térmico e acústico as edificações. Um exemplo dessa preocupação são as telhas metálicas, que inicialmente eram usadas apenas na cobertura e hoje já são empregadas também nas fachadas.

Moliterno (1997, p. 1) considera o telhado composto de duas partes principais, sendo a primeira a cobertura propriamente dita, e a segunda a armação do telhado, conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Descrição das partes que compõe um telhado.

Parte	Descrição
Cobertura	É responsável pela estanqueidade a água, transmitância térmica e isolamento acústica, além de ser resistente a ação dos ventos. Esta parte do sistema de cobertura pode ser com telhas de cerâmica, concreto, amianto ou telhas metálicas ou chapas de diversos materiais, como cobre, aço, ardósia, entre outros.
Armação/ Trama	É composta pelos elementos de sustentação da cobertura, tais como: tesouras, terças e contraventamentos no caso de coberturas metálicas. E no caso da cobertura com telhas de menor dimensão, como telhas cerâmicas e de concreto por exemplo, utiliza-se na armação do telhado, tesouras, terças, caibros, ripas e contraventamentos. Estes elementos podem ser fabricados em madeira, concreto ou metal.

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em Moliterno (1997, p. 1).

Em relação aos termos “cobertura” e “telhado” Melo (2011, p. 7) comenta que os dois termos generalizaram-se popularmente e na atualidade, alguns autores utilizam o termo telhado indistintamente, tanto para designar a cobertura, quanto o próprio telhado, sendo aceitos os dois termos para designar a cobertura.

2.2.2. Tipologias de telhados

As peças que integram as estruturas de telhados são normatizadas pela NBR 14807:2002 - Peças de madeira serrada - Dimensões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2002, p. 2) no caso de peças de madeira. Já as secções das peças metálicas, são calculadas conforme a solicitação das cargas de projeto.

Moliterno (1997, p. 3) define que a estrutura de um telhado pode ser composta pelos itens da Tabela 4.

Tabela 4 - Descrição dos itens que pode ter um telhado.

Item	Descrição	Dimensão
Ripas	São peças de pequena dimensão que recebem as telhas e são pregadas sobre os caibros, para sustentação das mesmas. O espaçamento entre elas, normalmente é denominado “galga”, e varia conforme tipo e tamanho das telhas usadas.	1,5 x 5cm ou 1 x 5cm
Caibros	São peças que se apoiam sobre as terças e sustentam as ripas. O espaçamento entre os caibros depende do tipo de telha usada e da resistência das ripas.	5 x 6cm
Terças	São vigas apoiadas sobre as tesouras ou sobre paredes, para sustentação dos caibros ou das telhas. O espaçamento entre as terças depende basicamente do tipo de telha utilizada e da resistência dos caibros.	6 x 12cm ou 6 x 16cm
Tesouras	Formada de barras dispostas de maneira a formar um triângulo, ou o formato desejado do telhado, tornando o sistema estrutural preso suficientemente. As treliças podem ser compostas pelos seguintes elementos e respectivas denominações: banzo superior também chamado de asna, perna, empena ou membrana superior; banzo inferior (linha, rochante, tirante, tensor, ou membrana inferior); montante (pontalete, suspensório ou pendural); e diagonal (escora).	
Trama	É uma armação formada pelas ripas, caibros e terças. Este conjunto é responsável pela acomodação das telhas. Onde as telhas se apoiam sobre a trama de ripas, caibros e terças descarregam as ações sobre as tesoura.	
Contraven- ta-mentos	São estruturas formadas por barras, de madeira ou metal, cruzadas dispostas de maneira a servir de sustentação para a ação dos ventos que atuam na estrutura, travando tesouras ou treliças e impedindo sua rotação e deslocamento.	
Beiral	Também denominado de testeira, tabeira ou aba.	

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em Moliterno (1997, p. 3), Bellei (1998, p. 139, 151) e Instituto Aço Brasil (2010, p. 10).

McLoughlin (1994, p. 1) comenta que os sistemas de revestimento de aço leve e telhado de alumínio são comumente usados em grandes construções tipo pavilhões industriais onde o custo é muitas vezes mais importante do que as considerações de ruído, já que são grandes as áreas a serem cobertas. A escolha da telha se dá principalmente em função da inclinação desejada na cobertura e efeito estético requerido.

Conforme Moliterno (1997, p. 3) comenta, a estrutura de um telhado pode ser disposta como nas Figuras 8 e 9.

Figura 8 – Esquema da disposição das peças de um telhado de telhas cerâmicas/ concreto.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Pini (2013, p. 1).

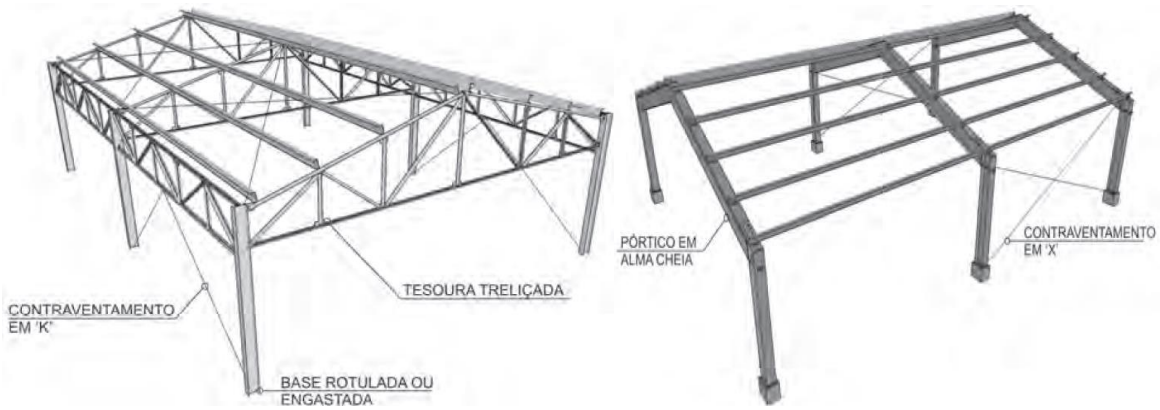
Figura 9 – Disposição das peças de um telhado de telhas metálicas/ fibrocimento.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Brasilit [20--].

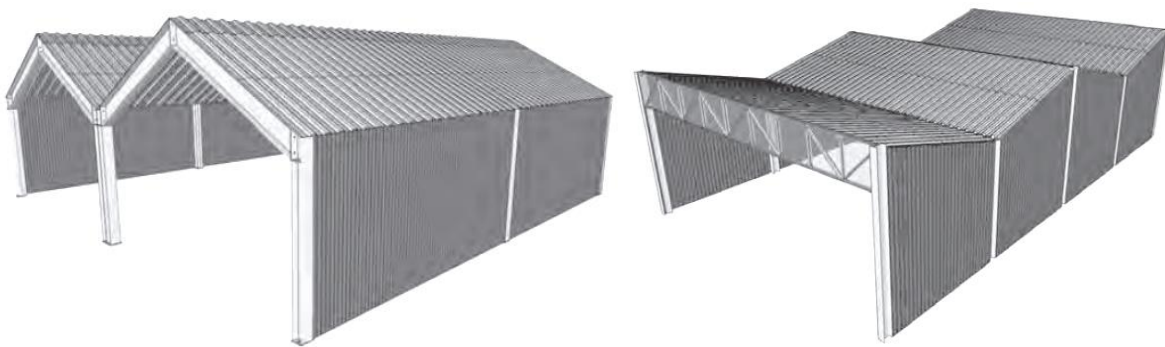
Em relação à geometria do telhado Melo (2011, p. 7) comenta que a área do telhado pode ser formada por um ou mais planos (uma água, duas águas, três águas, quatro águas ou múltiplas águas), assim como ser encontradas em formas curvas com geometria do arco, cúpula a até arcos múltiplos, conforme Figuras 10 ,11 e 12.

Figura 10 – Estrutura de um pavilhão com cobertura de duas águas, com tesoura e colunas e de um pavilhão de duas águas e estrutura em pórtico, respectivamente.



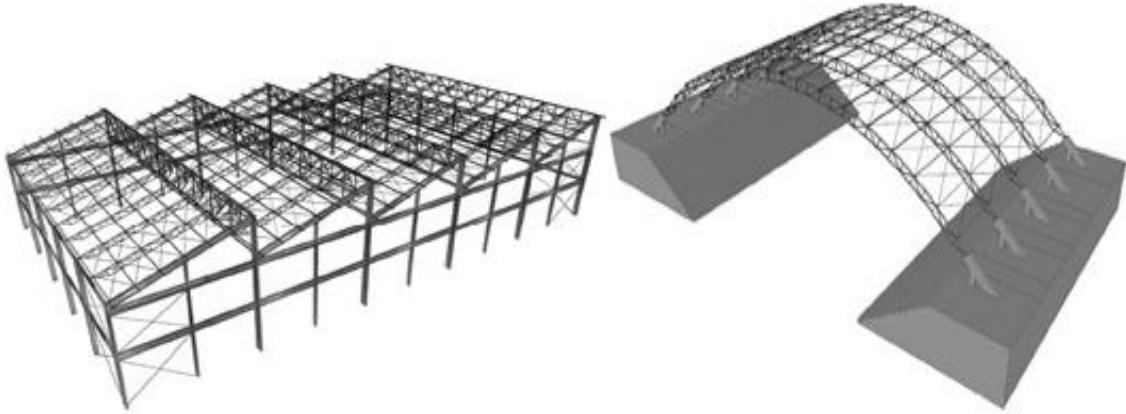
Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Instituto Aço Brasil (2010, p. 10).

Figura 11 – Estrutura de um pavilhão geminado com quatro meias-águas e de um edifício industrial geminado com meias-águas no sentido transversal, respectivamente.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Instituto Aço Brasil (2010, p. 14).

Figura 12 – Estrutura de um pavilhão com telhado em shed e estrutura em pórticos com perfis I e vigas mestras e secundárias treliçadas, e um pavilhão com estrutura em arco.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Instituto Aço Brasil (2010, p. 14).

Melo (2011, p. 18) comenta que os telhados são compostos por conjuntos de elementos, mostrados na Tabela 5 .

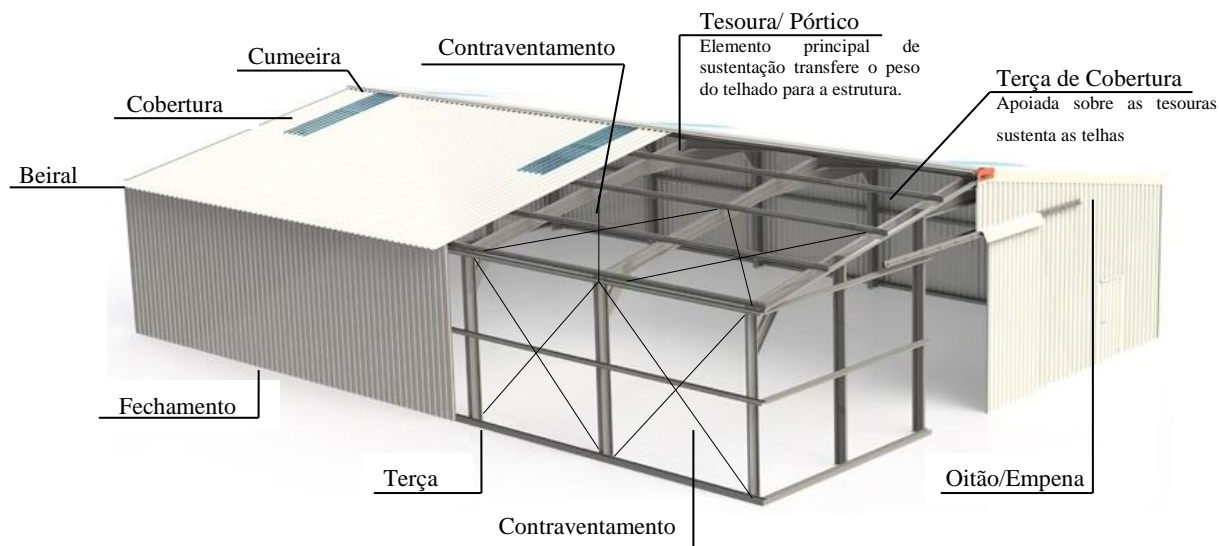
Tabela 5 - Descrição dos elementos que compõe um telhado.

Elemento	Descrição
Inclinação	Surge da relação entre a superfície de uma água e a linha horizontal da construção.
Cumeeira	Formada pelo encontro entre as duas águas principais do telhado, e geralmente corresponde à linha média da área coberta.
Espigão	É a aresta saliente formada pelo encontro de duas águas.
Rincão	É a aresta que surge no sentido contrário ao espigão, formada pelo encontro de duas águas. A incidência de rincão exige a colocação de calha para escoamento de água de chuva.
Mansarda	É um tipo de cobertura secundária que aproveita a inclinação do telhado, constituindo um cômodo denominado sótão.
Oitão	São paredes extremas paralelas às tesouras, que muitas vezes servem de apoio para terças.

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em Melo (2011, p. 18), Bellei (1998, p. 145) e Moliterno (1997, p. 10).

Estes elementos são dispostos conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Esquema dos elementos de um telhado típico de telhas metálicas.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Matsul (2015).

2.2.3. Tipos de telhas

As telhas podem ser encontradas em diversos materiais, tais como: aço corrugado, alumínio, zinco, madeira, barro (cerâmicas), fibrocimento (cimento amianto) e outras. Melo (2011, p. 18) destaca que as telhas cerâmicas e as de fibrocimento são as mais utilizadas no Brasil.

2.3. TELHAS SANDUÍCHE

Além da função de proteção e estanqueidade contra as intempéries, o elemento cobertura hoje em dia pode estar associado a diversos sistemas úteis a vida do edifício, que vão desde a captação de água da chuva para possível reuso até a geração de energia através de painéis solares ou fotovoltaicos, conforme mostra a Resolução Normativa nº 482 (ANEEL, 2012, p. 1) que prevê que a microgeração e minigeração distribuída seja conectada à rede através da edificação da instalação consumidora de modo a compensar a energia consumida.

Atualmente no mercado existem diversos fabricantes de telhas que prometem redução de ruído, a maioria pela introdução de material isolante na telha. Mas há também a oferta de

tinta que promete ser um revestimento anti-ressonância e anti-ruído para aplicação em metais. De fabricação da empresa alemã *MetaLine Surface Protection*, a tinta Metaline 440, promete ser um material que inibe a ressonância em estruturas metálicas, sendo bastante empregada em esteiras de grãos. Conforme descrição do fabricante, a superfície fica hermética, com uma textura lisa e decorativa, semelhante à da pele de laranja, possível de visualizar na Figura 14.

Figura 14 – Imagem da tinta aplicada a uma peça, destaque para a textura final da tinta.



Fonte: Metaline [20--].

Outro produto que certifica a redução de ruído é a telha TopSteel, fabricada pela Brasilit. De acordo com laudo acústico, realizado pela Intertek-ATI na Pennsylvania e fornecido pela empresa, a telha promete isolar 32 dB. Basicamente a telha é formada por quatro matérias-primas, distribuídas em sete camadas, o que totaliza uma espessura final de aproximadamente 2 mm, conforme Figura 15. A camada responsável pelo amortecimento do som é o asfalto que é modificado com agregado mineral.

Figura 15 – Ilustração da composição da telha TopSteel.



Fonte: TOPSTEEL, 2013.

É possível visualizar que existem alternativas para tratamento acústico de telhados, algumas certificadas e outras não. Conforme definição da NBR 16373 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, a telha termoacústica é o “conjunto formado por uma ou mais telhas metálicas, com camada de materiais termoisolantes e/ou acústicos, produzidas na unidade fabril ou montadas na obra”, portanto a aplicação de tinta ou asfalto oxidado poderiam se caracterizar como camada termoisolante e/ou acústica, devendo ser testado o real desempenho acústico dos materiais aplicados em condições simuladas.

Segundo a ABCEM (2009, p. 09) as coberturas de aço oferecem muitas vantagens em termos de instalação de telhados, possíveis tanto em construções novas como em intervenções em edificações já construídas, em função de seu baixo peso e rapidez na execução. Na medida em que o aço revestido se apresenta como um material de grande durabilidade, de alta resistência mecânica e com grande versatilidade, os fabricantes de coberturas e fechamentos laterais elegeram-no como sua matéria-prima básica para a produção de telhas e seus componentes, principalmente por se tratar de material leve e de fácil manuseio.

2.3.1. Matéria-Prima

São várias as possibilidades de revestimento para o aço base utilizado nas telhas, o qual deverá ser especificado em função da condição desejada, como a durabilidade, efeitos estéticos e local onde as telhas forem instaladas. Que pode ser em uma área costeira, industrial com alta emissão de partículas agressivas, ou numa área urbana ou rural.

Conforme descreve ABCEM (2009, p. 11) a zincagem é um dos processos mais eficiente e econômico empregado para proteger o aço da corrosão atmosférica. A zincagem, basicamente é um banho que a telha (aço base) recebe, e o efeito da proteção ocorre por meio da barreira mecânica exercida pelo revestimento e também pelo efeito de sacrifício (perda da massa) do Zinco, em relação ao aço base. Dessa forma, o aço continua protegido, mesmo com o corte das chapas ou riscos no revestimento de Zinco.

Consta no manual de telhas metálicas (ABCEM, 2009, p. 9) que os principais tipos de aço usados em telhas são o aço galvanizado, o aluzinco, o aço inoxidável e os aços pré-pintados, conforme Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição das características dos principais tipos de aço para fabricação de telhas.

Tipo de aço	Características
Aço Galvanizado	Zincados por imersão a quente – Possuem grande resistência à corrosão atmosférica e podem atender a obras mais econômicas. Também podem apresentar revestimento com zinco (Zn) puro ou com liga zinco-ferro (Zn-Fe).
Aluzinco ou Galvalume	Esse revestimento do aço confere ao produto excelente proteção à corrosão atmosférica devido à sua composição química de alumínio (55%), zinco (43,5%) e silício (1,5%). especificado pela NBR 7013:2013 - Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente - Requisitos gerais. Além da alta refletividade, melhor conforto térmico e manutenção do brilho
Pré-pintados	Antes de serem conformadas em telhas as bobinas recebem um <i>primer</i> epóxi, um revestimento interno responsável pela aderência da tinta e proteção contra corrosão. Posteriormente recebe acabamento interno (<i>Backer</i>) o qual é seguido pelo acabamento externo (<i>topcoat</i>), este último confere cor as peças. Os pré-pintados, têm ampla gama de cores, oferecem grande durabilidade, facilidade de manutenção e vantagens estéticas. Também podem receber revestimentos específicos para ambientes mais agressivos, como áreas litorâneas,
Aços inoxidáveis	Resistência a ambientes altamente agressivos.

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em ABCEM (2009, p. 9) e Telha Sul (2010, p. 3).

2.3.2. Processo de fabricação

Os perfis trapezoidais ou ondulados são fabricados a partir de bobinas de aço previamente zincadas, através de um processo contínuo em equipamentos de rolos de perfilação, visível na Figura 16 . Conforme descrição da ABCEM (2009, p. 13), nesse método de fabricação, a bobina de aço é desenrolada a uma velocidade de até 60 metros por minuto; em seguida ela é perfilada e cortada no comprimento desejado. Por meio do processo de “rolo formação”, o perfil trapezoidal ou ondulado de aço é obtido por etapas, devido a sua

passagem nos pares de cilindros dispostos sequencialmente, indo da chapa plana até o perfil pronto. Comumente, o processo de perfilação começa pela parte central do perfil trapezoidal ou ondulado, para que as partes laterais da chapa, ainda planas, possam se movimentar em direção ao centro, pois há redução da largura no processo.

Figura 16 – Processo de perfilação de seção ondulada e trapezoidal.



Fonte: Autora, 2016.

Também há a opção da perfilação in loco, onde com o auxílio de uma perfiladeira portátil, Figura 17, se dá forma a telha no próprio canteiro de obras. Nesta modalidade não há o transporte de telhas, e por isso estas podem ser produzidas com grandes comprimentos, o que permite a montagem de uma única peça do ponto mais alto do telhado (cumeeira) até o ponto mais baixo (beiral) sem a necessidade de emendas ou de sobreposição de peças (ABCCEM, 2009, p. 24). Com este processo, é possível se obter um revestimento sobre o telhado que não apresenta parafusos aparentes ou perfurações, o que garante uma excepcional estanqueidade para o sistema, tornando-o ideal para aplicação em coberturas com pouca inclinação.

Figura 17 – Perfiladeira portátil.



Fonte: COZIP, [20--].

Após a perfilação, a telha é destinada ao setor de acabamento, que corresponde a fase de acabamento. Que conforme descreve ABCEM (2009, p. 9) pode ser pré-pintura ou pós-pintura.

Na pré-pintura as telhas são fabricadas a partir de bobinas de aço pré-pintadas, por meio de um sistema contínuo de pintura multicamadas, denominado *coil-coating*. O aço pintado com essa tecnologia passa pela limpeza total da superfície, a aplicação de revestimento químico de conversão (fosfatização) e, dependendo do processo, passivação ou aplicação de um selante químico, que irá garantir a perfeita ancoragem da tinta ao aço e proteção contra a corrosão. Em seguida, uma aplicação rigorosamente controlada de *primers*, tintas e filmes protetivos que produzirão um material de alta qualidade, próprio para sofrer transformações posteriores, tais como: conformação, corte e dobramento na fabricação das telhas sem danos às superfícies pintadas e também durante o processo de montagem e instalação das telhas. Uma vantagem no sistema *coil coating* é que as telhas podem ter as duas faces pintadas na mesma cor ou em cores diferentes, ou ainda, uma face pintada e a outra apenas com primer.

Já no acabamento de pós-pintura, as telhas recebem cor ou proteção por meio de processo eletrostático à base de tinta poliéster, epóxi ou híbrida, em pó de grande resistência. Este processo é constituído primeiramente pela limpeza da peça, seguida a fase de pré-tratamento onde é aplicada uma fosfatização que, além de garantir uma boa ancoragem da tinta sobre o substrato metálico, aumenta o tempo de vida da telha contra corrosão. Depois é

feita a pintura em uma cabine de pintura eletrostática. Logo após a telha é destinada a estufa de secagem para cura (polimerização), a fim de garantir a total desidratação das telhas, evitando as microfissuras causadas pela “fuga” da água na pintura durante a polimerização.

O que se verifica é que os fabricantes optam, na sua maioria, pelas telhas pré-pintadas, por serem mais rentáveis, pois demandam menos espaço e funcionários na fabricação. Justamente por isso, é o tipo de acabamento mais utilizado quando se precisa de algum tipo de pintura.

No caso das telhas termoacústicas, após este processo de perfilação e pintura quando solicitado, a telha já pode ser comercializada, ou receber adição de camadas para melhoramento do desempenho térmico e acústico. A norma NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termo acústico – requisitos de desempenho, estabelece que estas camadas possam ser de poliestireno (EPS), poliuretano (PU), polisocianurato (PIR) ou lã mineral (lã de rocha ou lã de vidro). O que acontece é que na maioria das ações de publicidade dos fabricantes, estes materiais são anunciados como “material isolante de ruídos”, designando nome, comercialmente conhecido, a telha termo acústica.

2.3.3. Tipos de perfis

Conforme a ABCEM (2009, pg. 18) os tipos de perfis de telhas são regidos por normas. Mais especificamente a NBR 14513:2008 - Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos, para seções onduladas e NBR 14514:2008 - Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – Requisitos, para seções trapezoidais. Tais normativas fazem denominações conforme Quadro 4.

Quadro 4 – Nomenclatura e características dos elementos das telhas trapezoidais e onduladas.

Elemento	Descrição	Trapezoidal	Ondulada
Mesa	São os trechos horizontais superiores da seção da telha.	X	
Alma	São os trechos inclinados que unem as mesas.	X	

Continua

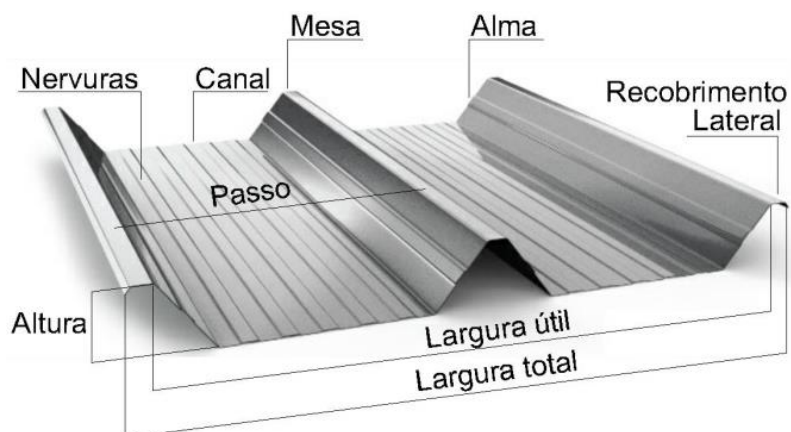
Quadro 4 – Nomenclatura e características dos elementos das telhas trapezoidais e onduladas.

Elemento	Descrição	Conclusão	
		Trapezoidal	Ondulada
Passo	É a distância entre os centros de duas mesas superiores consecutivas.	X	X
Canal	São os trechos horizontais interiores da seção da telha, por onde escoa a água.	X	
Recobrimento Lateral	É o trecho superposto quando duas telhas são colocadas lado a lado numa cobertura.	X	X
Recobrimento Longitudinal	É o trecho superposto quando duas telhas são colocadas uma a seguir da outra numa cobertura.	X	X
Largura Total	É a distância entre as extremidades do perfil.	X	X
Largura útil	É a largura efetivamente coberta pelo perfil, ou seja, é a diferença entre a largura total e o recobrimento lateral.	X	X
Altura	É a distância entre a mesa superior e a mesa inferior.	X	X
Nervura (Bit)	É a dobra com pequena altura, feita para reforçar a seção e diminuir o risco de deformação localizada.	X	

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em ABCEM (2009, p. 18), NBR 14513(2008, p. 5) e NBR 14514 (2008, p.5).

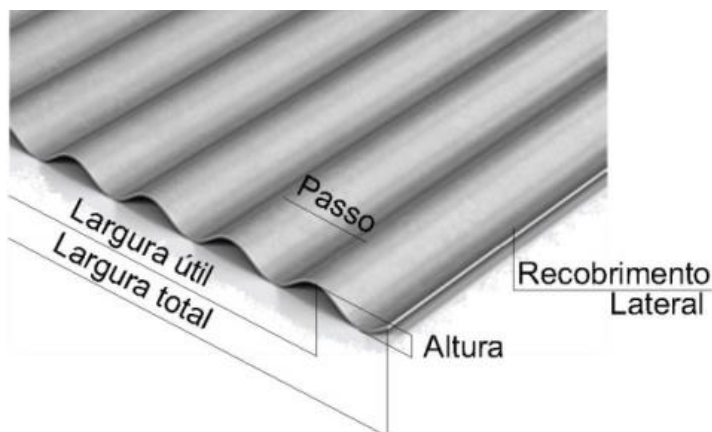
A diferença entre a telha trapezoidal possuir mais elementos em relação à telha ondulada é pelo fato das telhas cuja seção transversal é similar a uma sequência de ondas senoidais se caracteriza por não possuir trecho plano, por isso não apresenta elementos como mesa, canal, nervuras, entre outros, possível de visualizar nas Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Termos da seção trapezoidal segundo NBR 14514 - Telhas de aço revestido de seção trapezoidal – Requisitos.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em OcelBrasil, [20--]

Figura 19 – Termos da seção ondulada segundo NBR 14513 - Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em EMETU, [20--].

2.3.4. Tipos de telhas sanduíche

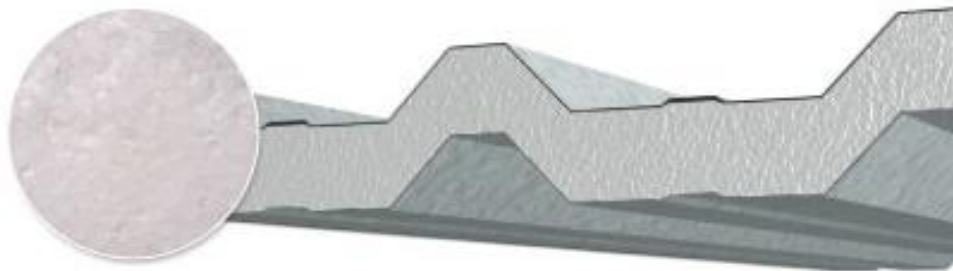
As telhas compostas caracterizam-se como telhas que receberam camadas com material que possui menor capacidade de condutividade térmica, ou maior densidade, conforme descreve Zajakoff (2014, pg.1). De acordo com a NBR 16373:2015 - Telhas e

painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, pode ser de Poliestireno, polisocianurato, poliuretano ou lã mineral.

2.3.4.1. Poliestireno (EPS)

As telhas com aplicação de Poliestireno (EPS), Figura 20, têm como principal característica o peso final considerado leve em relação as demais telhas, além da duração ilimitada, e do material de preenchimento ser retardante a chama de fogo e não absorvedor de umidade, devido à composição do EPS ser de 97% de ar e somente 3% de material (VERGARA 2012, p. 88).

Figura 20 – Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliestireno (EPS) e acabamento em telha.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

O EPS possui classificação, de acordo com a NBR 11752:2007 - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial.

O EPS possui classificação em função da sua massa, resistência, entre outros fatores, de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Tabela de especificações do EPS.

Propriedades			Classe P			Classe F		
Tipo de Material	Métodos de ensaio	Unidade	I	II	III	I	II	III
Massa específica aparente	NRB 11949	Kgm ³	13-16	16-20	20-25	13-16	16-20	20-25
Resistência à compressão com 10% de deformação	NRB 8082	K P a	≥ 60	≥ 70	≥ 100	≥ 60	≥ 70	≥ 100
Resistência à flexão	ASTM C - 203	K P a	≥ 150	≥ 190	≥ 240	≥ 150	≥ 190	≥ 240
Absorção de água Imersão em água	NRB 7973	G/cm ² x100	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1	≥ 1
Permeabilidade ao vapor d'água	NRB 8081	Ng/Pa.sm	≥ 7	≥ 5	≥ 5	≥ 7	≥ 5	≥ 5
Coefficiente de condutiv.Térmica a 23°C	NRB 12904	X/(m.k)	0,042	0,39	0,37	0,42	0,39	0,7
Flamabilidade	NRB 1948		Material não retardante à chama			Material não retardante à chama		

Fonte: NBR 11752:2007 Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial.

Esta telha é produzida através da colagem do EPS na telha perfilada, já que o isopor vem com o formato da telha na qual será colado, pode ser ondulado ou trapezoidal.

2.3.4.2. Poliuretano (PU)

O PU é um polímero de baixa densidade (16 – 48 kg m³) com células fechadas, o que contribui também para a rigidez da espuma, apresentando uma estruturas altamente reticulada (BAYER, 2014, p. 2495). O PU tem como Normativa a NBR 11726:2014 Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmica – Especificação, NBR 12094:1991 Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico - Determinação da condutividade térmica - Método de ensaio e NBR 15366-1:2006 Painéis industrializados com espuma rígida de poliuretano, Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio, Parte 2: Classificação quanto à reação ao fogo e Parte 3: Diretrizes para seleção e instalação em edificações e câmaras frigoríficas.

A telha com preenchimento de poliuretano é executada através da injeção da espuma em alta pressão, processo totalmente industrial, para garantir a não formação de bolhas de ar no processo que alterem a densidade final da peça, que deve ser totalmente preenchida de PU, visível pela Figura 21. Também tem características retardante à chama do fogo, é um conjunto estruturado único, excelente para vãos maiores e resistência química a solventes.

Figura 21 – Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em poliuretano (PU) e acabamento em telha.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

2.3.4. 3. *Polisocianurato*

O Polisocianurato (PIR) é como se fosse o Poliuretano (PUR) evoluído. Resiste a temperaturas ainda mais elevadas que o PUR e é empregado como um substituto da lã de rocha, que tem como principal vantagem o fato de ser material incombustível. O processo de fabricação da telha preenchida com Polisocianurato é o mesmo da telha com PUR, conforme Figura 22.

Figura 22 – Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em polisocianurato (PIR) e acabamento em forro.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Pizzinatto (2015).

2.3.4.4. Lã Mineral

As lãs de rocha seguem as normas NBR 13047:2014 Mantas termoisolantes à base de lã de rocha e NBR 11364:2014 Painéis termoisolantes à base de lã de rocha — Especificação. Esta tipologia de telha mostrada na Figura 23, possui facilidade de manuseio, resistência ao fogo, e não absorve umidade.

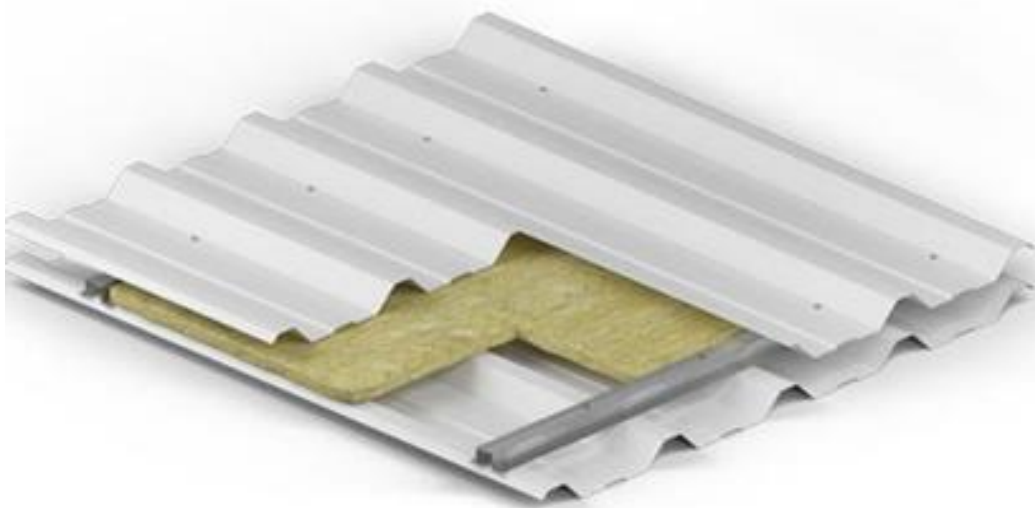
Figura 23 – Vista da seção da telha trapezoidal com preenchimento em lã mineral e acabamento em telha.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

As telhas com preenchimento em lã mineral tem a especificidade em relação a sua montagem, que é executada *in loco*, por isso muito usada com telhas perfiladas no canteiro de obras. Esta tipologia necessita de um reforço estrutural, para poder formar uma camada de ar entre a lã mineral e a telha superior, elucidado pela Figura 24.

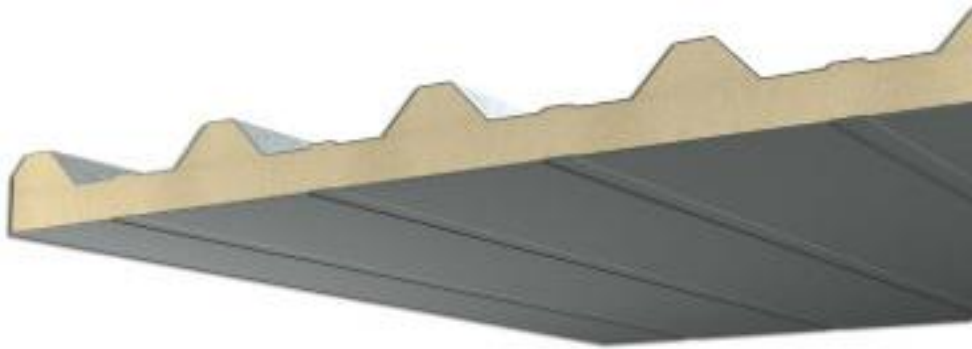
Figura 24 – Esquema de montagem da telha com lã mineral.



Fonte: EMETU, [20--].

Independente da escolha do tipo de preenchimento, há também a possibilidade de escolha do acabamento da telha que ficará voltada ao ambiente interno. Nos casos onde não se utiliza forro, há, disponível no mercado brasileiro, quatro opções de acabamento conforme mostram as figuras 25, 26, 27 e 28.

Figura 25 – Vista do acabamento forro, que se caracteriza pela colocação de uma chapa corrugada na face interna.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

Figura 26 - Vista do acabamento telha, que se define pela colocação de uma telha na face interna.



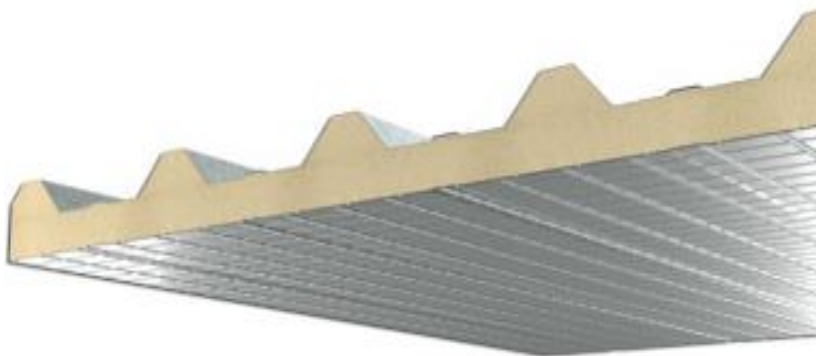
Fonte: Pizzinatto, 2015.

Figura 27 - Vista do acabamento perfurado, que se caracteriza pela colocação de uma telha perfurada na face inferior.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

Figura 28 - Vista do acabamento filme, que se define pela colocação de uma película protetiva de alumínio na face inferior.



Fonte: Pizzinatto, 2015.

2.3.5. Fixação e arremates

Conforme recomendação da ABCEM (2009, p. 34) e observando o estabelecido nas Normas NBR 14514:2008 - Telhas de aço revestido de seção trapezoidal - Requisitos e NBR

14513:2008 - Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos, é necessário inicialmente considerar a espessura, peso e revestimento da telha, para consultar o número de apoios necessários e os distanciamentos corretos entre eles, conforme Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela para verificação do espaçamento e quantidade de apoios da estrutura de telhado, em função das características da telha.

TELHA ONDULADA 17															
Tabela de Cargas Admissíveis (kgf/m ²) - Telhas revestidas com Zn-Al															
Esp. (mm)	Peso* (kg/m ²)	Peso (kg/ml)	I (cm ⁴ /m)	W (cm ³ /m)	Nº de apoios	Distância entre Apoios (mm)									
						1500		1750		2000		2250		2500	
						F	C	F	C	F	C	F	C	F	C
0,43	4,36	3,86	1,7236	1,970	2	66	41	41	26	28	17	20	12	14	9
					3	126	99	93	62	67	42	47	29	34	21
					4	124	78	78	49	52	33	37	23	27	17
0,50	5,10	4,52	1,9881	2,272	2	76	48	48	30	32	20	23	14	16	10
					3	145	114	107	72	77	48	54	34	40	25
					4	143	90	90	56	61	38	43	27	31	19
0,65	6,71	5,94	2,5400	2,903	2	97	61	61	38	41	26	29	18	21	13
					3	186	146	137	92	99	62	69	43	51	32
					4	183	115	115	72	77	48	54	34	40	25
0,80	8,31	7,36	3,0725	3,511	2	117	73	74	46	50	31	35	22	25	16
					3	225	177	165	111	119	75	84	52	61	38
					4	222	139	140	87	94	58	66	41	48	30
0,95	9,90	8,77	3,5857	4,098	2	137	86	86	54	58	36	41	25	30	19
					3	262	206	193	130	139	87	98	61	71	45
					4	259	162	163	102	109	68	77	48	56	35
1,25	13,08	11,58	4,5564	5,207	2	174	109	110	69	73	46	52	32	38	24
					3	333	262	245	165	177	111	124	78	91	57
					4	329	206	207	129	139	87	97	61	71	44

* = Incluindo sobreposição (Larg. útil de 912 mm)

F - Fechamento C - Cobertura

NOTA: A flecha máxima admissível é de 300 mm.

Valores obtidos para cobertura e fechamento obedecendo ao menor valor nos seguintes critérios:

- Flecha máxima L/200 para cobertura e L/125 para fechamento (L - vão entre terças) ou tensão máxima admissível de 1400 kgf/cm².

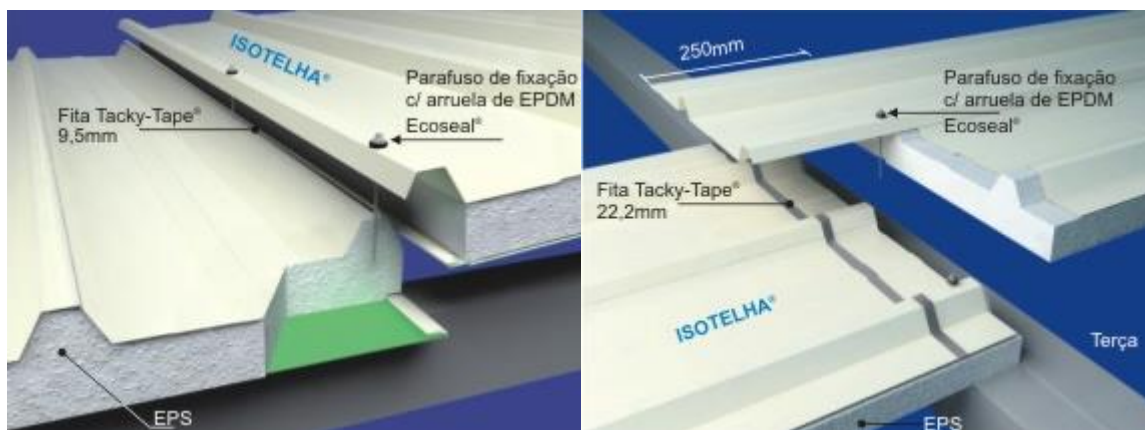
OBS: Nas combinações com vento de sucção, o peso próprio da telha deverá ser subtraído da pressão do vento atuante.

Fonte: ABCEM (2009, p. 23).

Após a observação dos apoios é importante verificar a direção do vento para o início da montagem do telhado, pois a transposição das telhas deve ser sempre na mesma direção predominante do vento (TELHA SUL, 2010, p. 12).

A maioria dos fabricantes possuem encaixes das telhas “macho e fêmea”. Isso garante a estanqueidade do sistema de cobertura. A NBR 16373:2015 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, não faz menção aos tipos de encaixes, deixando a critério do fabricante o modelo comercializado, que normalmente costuma ser semelhante ao apresentado nas Figura 29.






Figura 29 – Vista de um dos tipos de encaixe longitudinal e superior, respectivamente, da telha sanduíche.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em Isotelha, (2015).

Em relação a fixação das telhas termoacústicas na estrutura do telhado, ela ocorre com o encaixe das peças entre si, seguidas do parafusamento. Nesta etapa, a ABCEM (2009, p. 28) recomenda a utilização de parafusos de acabamento aluminizado, com cabeça inox e borracha de vedação conforme mostra Quadro 5.

Quadro 5 – Especificação dos parafusos de acordo com a estrutura do telhado.

MODELOS	ESPECIFICAÇÕES			CABEÇA	PONTA	UTILIZADO
	Bitola	Nº Fios p/ Polegadas	Comprimento			
	10	16	3/4	5/16	3	Telha Ondulada Telha x Terça Metálica
	12	14	3/4	5/16	3	Telhas Trapezoidais Telha x Terça Metálica
	1/4	14	7/8	5/16	3	Telha x Telha (Costura)
	12	14	2 3/8	5/16	3	Telhas Termoacústicas (Revestimento 30 mm) Telha x Terça Metálica
	10	14	1 1/2	1/4	AB	Telha x Terça Madeira

Fonte: Eternit, 2015.

Neste momento deve-se atentar para o parafusamento que deve ser conforme indica a Figura 30, pois é justamente a borracha que irá vedar o furo feito pelo parafuso, em situações de presença de sujeira e água.

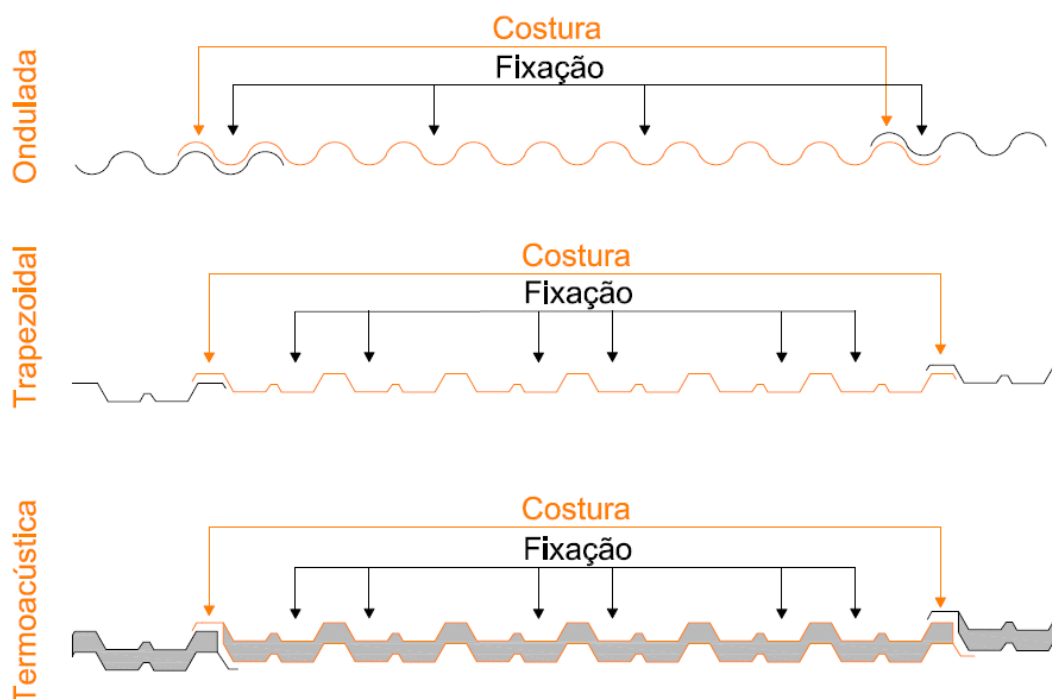
Figura 30 – Indicação do modo de parafusamento.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em BIAZAM, [----].

Os parafusos recomendados são do tipo autoperfurantes de costura, empregados na sobreposição das mesas das telhas trapezoidais, e parafusos de fixação colocados no canal das telhas. Enquanto que no modelo ondulado a costura é feita na sobreposição das telhas e a fixação distribuída, conforme Figura 31.

Figura 31 – Orientação dos locais de fixação conforme tipologia de telha.

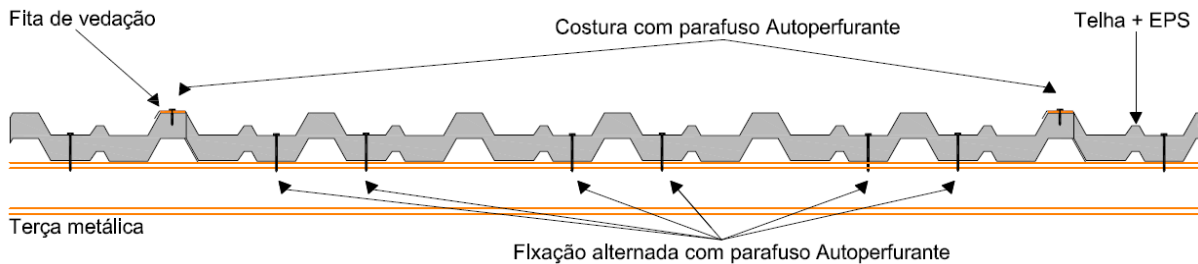


Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em BIAZAM, [----] e ABCEM (2009, p. 21-28).

A ABCEM (2009, p. 32) recomenda que em situações em que a estanqueidade máxima é necessária, deve-se utilizar fita de vedação na sobreposição longitudinal e

transversal, conforme indicado na Figura 32. Nos encaixes especiais deve-se utilizar massa poliuretânica.

Figura 32 – Indicação dos elementos para fixação da telha termoacústica.

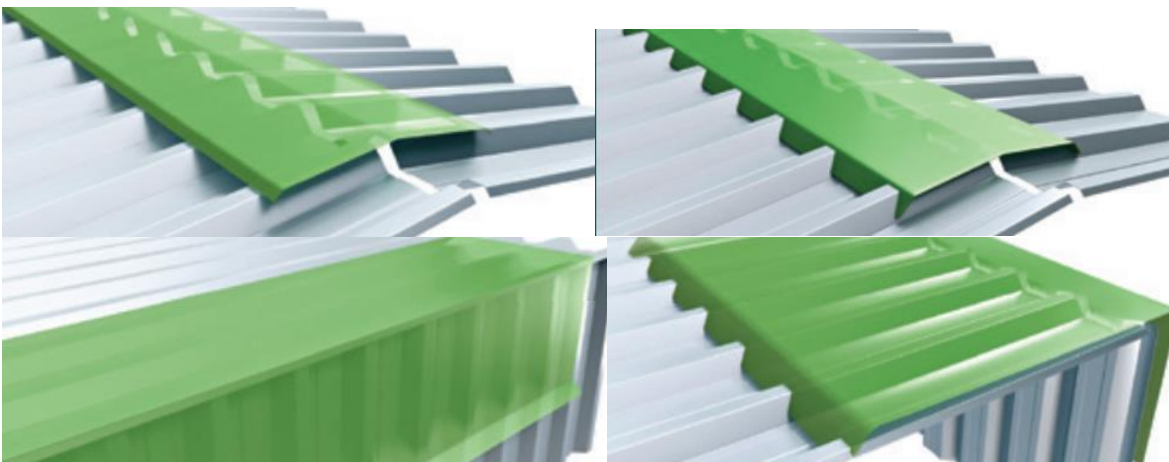


Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em ABCEM (2009, p. 28).

A ABCEM (2009, p. 32) recomenda que em situações em que a estanqueidade máxima é necessária, deve-se utilizar fita de vedação na sobreposição longitudinal e também na transversal, ou em encaixes especiais deve utilizar massa poliuretânica.

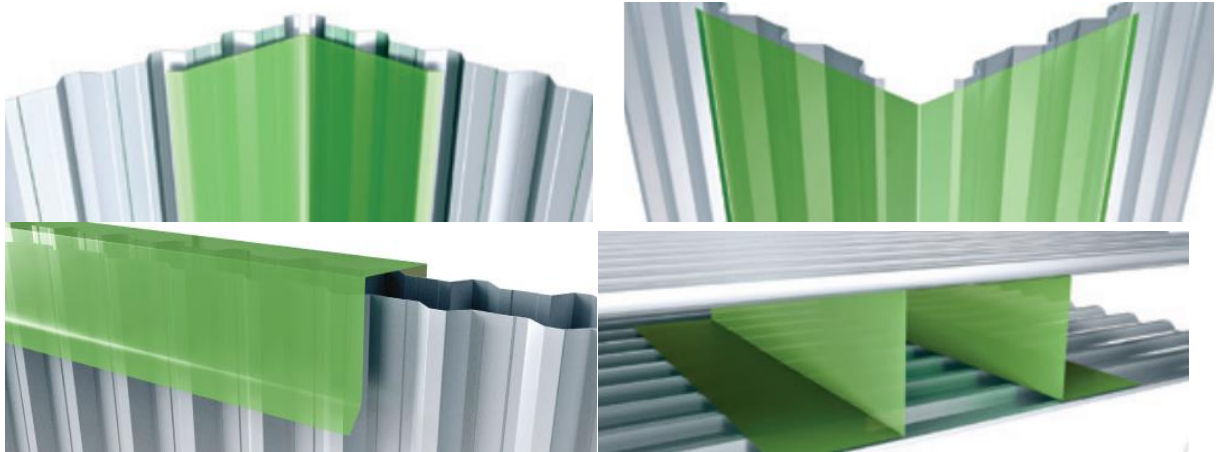
Além do feitiço de telhas as empresas de cobertas metálicas e fechamentos fabricam peças especiais para arremates, como fechamento de onda, cumeeiras, rufos, cantoneiras, entre outros, ilustrados nas Figuras 33 e 34. Elementos que podem ou não receber os diversos tratamentos já abordados, que vão desde as especificidades em relação a zincagem, dobra e etapas de pintura, conforme o cliente exigir.

Figura 33 – Ilustração da cumeeira lisa, cumeeira dentada, shed lisa e shed dentada, respectivamente.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em OcelBrasil, [20--].

Figura 34 – Ilustração do canto interno, canto externo, rufo superior e espaçador, respectivamente.



Fonte: Adaptado pela Autora, baseado em OcelBrasil, [20--].

2.3.5. Transporte, armazenagem, e manuseio

Considerando as características das telhas metálicas em geral, elas apresentam grande facilidade em relação ao transporte, armazenagem e manuseio, pois na maioria das vezes são peças finas e leves (ABCEM, 2009, p. 33). Porém algumas recomendações gerais devem ser observadas:

Em relação ao transporte:

É sempre recomendado o uso de caminhões abertos (nunca fechados), pois os fabricantes de telhas de aço trabalham com pontes-rolantes para a montagem da carga (ARCELOR MITTAL, 2014, p. 25). Também para evitar que as telhas amassem, recomenda-se transportá-las sobre apoios de madeira (caibros), e evitar esforços sobre o material para não provocar deformações permanentes no perfil (TELHA SUL, 2010, p. 13).

Ao se erguer uma telha, deve-se atentar para não transmitir compressão à mesma, evitando deformações em seu perfil. Recomenda-se a utilização de caibros sob as telhas para erguê-las. Todo cuidado deve ser tomado para que uma telha não seja arrastada sobre a outra, principalmente se elas forem pintadas (TELHA FORTE, 2015).

Em relação a armazenagem:

As telhas empilhadas devem estar afastadas do piso no mínimo 15 cm e apoiadas sobre caibros posicionados de forma que o peso de cada pilha aja uniformemente sobre eles (ABCEM, 2009, p. 35). Recomenda-se dispor os caibros de maneira que a pilha fique ligeiramente inclinada em relação à horizontal, para propiciar o escoamento de eventual acúmulo de umidade (TELHA SUL, 2010, p. 13).

As telhas não podem estar molhadas e o local de estocagem deve ser coberto, seco e ventilado, para que não ocorra o fenômeno da corrosão galvânica, resultante da umidade (PINI, 2011, p. 1). Se o local de armazenamento não for coberto ou contiver umidade, cobrir a pilha de telhas com lonas ou material impermeável (não é recomendada lona plástica, pois podem fazer o material “suar”, criando umidade que pode resultar em um processo corrosivo ou danificar a pintura eletrostática, quando houver (ARCELOR MITTAL, 2014, p. 25).

Em relação ao manuseio:

O manuseio das telhas deve ser feito com o uso de luva de raspa para proteção do operário e para evitar manchas nas telhas (TELHA FORTE, 2015).

Nas coberturas em duas áreas opostas, a montagem deverá ser feita simultaneamente em ambos os lados, assim haverá coincidência das ondulações/trapézios na cumeeira. Para maior segurança, é recomendado andar em cima da cobertura em tábuas, apoiadas no mínimo, em três terças. Quando o caimento for grande, deve-se amarrar as tábuas às terças e pregar travessas (ARCELOR MITTAL, 2014, p. 26). Também durante o processo de montagem, deve-se retirar as limalhas de furação e do corte da superfície da cobertura. As limalhas quentes grudam na película da tinta e enferrujam rapidamente, facilitando o processo de corrosão (ARCELOR MITTAL, 2014, p. 26).

2.4. NORMATIVAS PERTINENTES

2.4.1. NBR 15575:2013 Edificações habitacionais – Desempenho

A Norma Brasileira 15.575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho é um conjunto de cinco partes que tratam especificamente de exigências que devem ser observadas na construção das edificações, para proporcionar aos usuários o mínimo de qualidade.

Considerando a área da acústica, a ABNT descreve:

Parte 1: Trata dos requisitos gerais quanto ao desempenho de edificações. Esta parte possui o item 12, que é relativo ao desempenho acústico, onde apenas faz referência a outras

partes da Norma, para situações de avaliação de isolamento de vedações externas, isolamento de pisos e paredes externas e avaliação de ruídos de impacto.

Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais; esta parte da Norma faz referência a parte 1.

Parte 3: Apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico do sistema de piso entre unidades autônomas. Nesta parte da Norma 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).

Parte 4: Esta parte apresenta os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno, entre unidades autônomas e entre dependências de uma unidade e áreas comuns.

Parte 5: Estabelece os requisitos e critérios para a verificação do isolamento acústico entre o meio externo e o interno de coberturas, que é o objeto de estudo deste trabalho. São considerados o isolamento de sons aéreos do conjunto fachada/cobertura de edificações e o nível de ruído de impacto no piso (caminhamento, queda de objetos e outros) para as coberturas acessíveis de uso coletivo.

Parte 6: Esta parte da Norma estabelece métodos de medição dos ruídos gerados por equipamentos prediais. Sendo considerados apenas os equipamentos de acionamento coletivo, ou seja, aqueles que são acionados por terceiros e não pelos usuários das unidades residenciais. Também apresenta métodos de medição do desempenho acústico, e valores de níveis de desempenho, sendo estes últimos apenas de caráter informativo.

2.4.2. NBR 16373:2015 Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho

Esta Norma estabelece os requisitos de classificação de desempenho para especificação, encomenda e fabricação e fornecimento de telhas metálicas, a partir de aço galvanizado, galvalume, alumínio e aço inoxidável de seção ondulada ou trapezoidal, zipada ou painéis metálicos com camada de material isolante com características térmicas, acústicas e de flamabilidade.

No subitem 5.1.2 é abordado o desempenho acústico, onde apresenta porcentagens de classificação quanto ao isolamento sonoro, Quadro 6, o qual utiliza como grandeza o *decibel* (dB) e faz menção a ISO 10140-2 para os ensaios de desempenho de isolamento acústico em telhas.

Quadro 6 – Classificação quanto ao isolamento acústico.

Isolamento acústico (R_w) dB (A)	
Escala	Intervalo
6	≥ 41
5	40 a 36
4	35 a 31
3	30 a 26
2	25 a 21
1	< 20

Fonte: NBR 16373 (2015).

Já no subitem 5.1.3 é comentado o desempenho quanto a absorção acústica, e traz índices de absorção sonora (NRC). Esta Norma faz referência a ASTM C423 para determinação do Índice NRC, e classificação quanto a absorção acústica, conforme mostra o Quadro 7.

Quadro 7 – Classificação quanto a absorção acústica.

Absorção acústica (NRC) %	
Escala	Intervalo
5	90
4	70 - 85
3	50 - 65
2	30 - 45
1	Até 25

Fonte: NBR 16373 (2015).

2.4.3. ISO 10140-2:2010 Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements- Part 2: Measurement of airborne sound insulation

A ISO 10140:2010 é uma Norma que foi desenvolvida para avaliação do isolamento sonoro de elementos construtivos em laboratório. Ela é dividida em cinco partes das quais, para este trabalho foi utilizada a Parte 2 que é relativa a medição do isolamento sonoro. Esta parte especifica o método de medição, em laboratório, do isolamento sonoro em elementos de edificações, como telhas, por exemplo. Servindo os resultados obtidos, como parâmetro para comparação com situações reais.

Esta Norma orienta que na sala de emissão da câmara reverberante seja gerado um campo sonoro difuso, através do uso de uma fonte omnidirecional em, no mínimo, duas posições, e que os resultados do índice de redução sonora R , estejam de acordo com a ISO 717-1:2013 e sejam medidos em faixas de frequências de 100 a 5000Hz, em bandas de 1/3 de oitava.

A Norma ordena que o laboratório onde as medições serão realizadas, seja capaz de invalidar as transmissões indiretas, de forma a não interferir nos resultados. Também recomenda que seja feito um relatório de medição, que conste informações como: Nome e endereço do laboratório, tamanho, forma e volume da câmara reverberante e as condições de temperatura, pressão e umidade relativa do ar durante as medições.

2.4.4. ISO 717-1: 2013 Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements- Part 1: Airborne sound insulation

É uma Norma que possui duas partes. A parte 1 é relativa ao isolamento sonoro de ruído aéreo onde define o número único que quantifica o isolamento sonoro em edificações, através do R , e o isolamento sonoro de elementos construtivos medidos em laboratório, através do R_w .

A Norma apresenta a metodologia para obtenção do R_w , - índice de redução sonora ponderado - através do método comparativo, segundo a ISO 10140-2:2010, ISO 140-4:1998 e ISO 140-5:1998 e fornece a tabela com os valores que compõe a curva de referência de R , para ruído aéreo, conforme o Quadro 8.

Quadro 8 – Classificação quanto a absorção acústica.

Frequência	Valores de Referência (dB)	
	Um terço de bandas de oitava	Bandas de oitava
100	33	36
125	36	
160	39	
200	42	45
250	45	
315	48	
400	51	52
500	52	
630	53	
800	54	55
1000	55	
1250	56	
1600	56	56
2000	56	
2500	56	
3150	56	

Fonte: ISO 10140-5 (1998), tradução nossa.

2.4.5. ASTM C423 - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method

Esta Norma estabelece um método de ensaio para a obtenção do coeficiente de absorção de determinado material, em laboratório medindo taxa de decaimento. Assim como procedimentos para a medição da absorção da câmara vazia.

A ASTM C423, exige que a câmara de medição tenha volume mínimo de 125m³ sendo recomendado $V \geq 200\text{m}^3$. Amostra com tamanho mínimo de 5,57m², e que as medições sejam feitas em faixas de frequência de 100 a 5000 Hz, em bandas de 1/3 de oitava. Devendo ser no mínimo 5 posições de microfone para cada posição de fonte.

2.4.6. ISO 354:2003 - Measurement of sound absorption in a reverberation room

A norma ISO 354 apresenta os procedimentos de medição de absorção sonora e de *TR* – tempo de reverberação, na câmara reverberante. Para se obter a área de absorção sonora equivalente na sala de recepção, é necessário a medição do *TR*. É utilizada a equação de Sabine para calcular a área de absorção sonora equivalente na sala de recepção e posteriormente calcular o índice de redução sonora *R*, que é a medida que calcula a perda de transmissão sonora de uma amostra. Os resultados obtidos podem ser utilizados para fins de comparação e para o cálculo do projeto em relação à acústica da sala e controle de ruído.

Segundo a ISO 354, o Tempo de Reverberação necessita ser medido em bandas de 1/3 de oitava com faixa de frequência que vai de 100 Hz a 5000 Hz. Para realizar a medição, é necessária uma fonte omnidirecional e segundo a norma, o mínimo de duas posições de fonte e três posições de microfone para cada medição realizada com a fonte, efetuando assim, seis medições.

Outra recomendação da norma é a de que as duas posições da fonte devem estar distantes a pelo menos 3 metros uma da outra, estar a pelo menos 1 metro de qualquer superfície da câmara ou do elemento teste, e estar a pelo menos 2 metros distante de cada posição de microfone. Deve ser respeitada a distância de 1,5 metros de cada posição de microfone e estar a pelo menos 1 metro afastado de qualquer superfície ou do elemento testado.

Quanto as condições de temperatura e umidade, a norma cita que a umidade relativa do ar deve estar dentro de 30 e 90 %, e a temperatura ambiente deve ser de no mínimo, 15°C ao longo da medição do *TR*.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa caracteriza-se como aplicada, de abordagem quantitativa, com objetivos exploratórios e explicativos de caráter experimental, baseada nos resultados adquiridos através de ensaios em laboratório. A metodologia utilizada neste trabalho divide-se de acordo com os objetivos específicos já apresentados.

Neste capítulo são apresentados os tipos de materiais e métodos que foram utilizados nos experimentos, assim como o local de realização dos ensaios, os equipamentos utilizados e seus posicionamentos de acordo com as normativas.

A NBR 16373:2015 Telhas e painéis termoacústico - Requisitos de desempenho determina dois ensaios para classificar a telha. Um para quantificar a absorção sonora e outro para a determinação de isolamento ao ruído aéreo.

Para a realização dos ensaios foram usadas as duas câmaras reverberantes do Laboratório de Engenharia Acústica da UFSM, sendo a câmara simples para o ensaio de absorção e a câmara dupla para as medições da perda de transmissão sonora.

Também duas amostras diferentes foram executadas com as telhas sanduíche do tipo telha + EPS, com características conforme Quadro 9.

Quadro 9 – Características da telha ensaiada

Elemento	Nome/ Classificação	Fabricante	Esp. (mm)	Larg. (mm)	Larg. Útil (mm)	Peso (kg/m ²)	Dens. (kg/m ³)
Aluzinco	AZ150	Arcelomittal	0,50	1080	980	4,0	-
EPS	IIF	-	50,0	980	980	-	16 - 20
Cola	Monocomponente	Silkym	-	-	-	-	-
Telha + EPS	Composta	Telhasul	50,5	1080	980	4,17 kg/m ² 4,13 kg/ml	-

Fonte: Compilado pela Autora, baseado em TELHASUL (2010).

3.1 ENSAIOS DE ABSORÇÃO SONORA

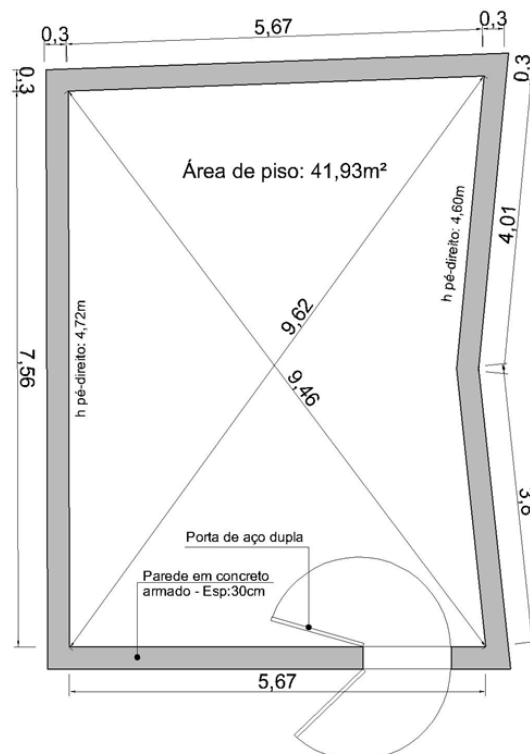
3.1.1 Local de realização dos ensaios

As medições foram realizadas na câmara reverberante simples do Laboratório de Engenharia Acústica (LEAC), pertencente ao Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM.

A câmara reverberante para o ensaio de absorção sonora possui área de $41,93\text{m}^2$ e volume de 207m^3 , o que corresponde aos padrões exigidos pela norma ASTM C423-*Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, a qual estabelece volume de câmara não inferior a 125m^3 . A referida Norma recomenda que o volume seja maior ou igual a 200m^3 , em função da volumetria da câmara interferir na precisão das medições.

As paredes, teto e piso da câmara de estudo são executados em concreto armado na espessura de 30 cm, e a mesma possui porta dupla em chapa de aço vedada com material resiliente no seu contorno, para garantir a estanqueidade, conforme mostra Figura 35. Além disso, a estrutura da câmara é apoiada em elementos de neoprene para isolá-la das interferências que possam ocorrer através das fundações.

Figura 35 - Esquematização da câmara Reverberante do LEAC / UFSM.



Fonte: Autora, 2016.

Além das paredes anguladas, há elementos difusores que colaboram para tornar a pressão sonora mais uniforme e para a criação de um campo sonoro difuso, conforme mostra a Figura 36.

Figura 36 - Câmara Reverberante do LEAC / UFSM



Fonte: Autora, 2016.

3.1.2 Montagem e posicionamento da amostra

A norma ASTM C423 - *Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method*, determina que a amostra deve ter formato retangular, com área mínima de $5,57\text{m}^2$, atentando para que a mesma não tenha formatos extremos, como longas tiras estreitas, por exemplo. No ensaio de absorção da telha sanduíche, foi utilizada uma amostra de $7,78\text{m}^2$ de área, devido a conformação das peças, para otimizar o material para os próximos ensaios.

É indicado, na ASTM C423, que a amostra simule a situação de instalação real, para isso as telhas foram transpassadas em seu encaixe. Em seguida, foi colocada uma moldura de madeira de 2 cm de espessura e 7 cm de altura, em todo o perímetro da amostra, visível na Figura 37, com a finalidade de evitar o fenômeno da difração devido ao formato trapezoidal das telhas.

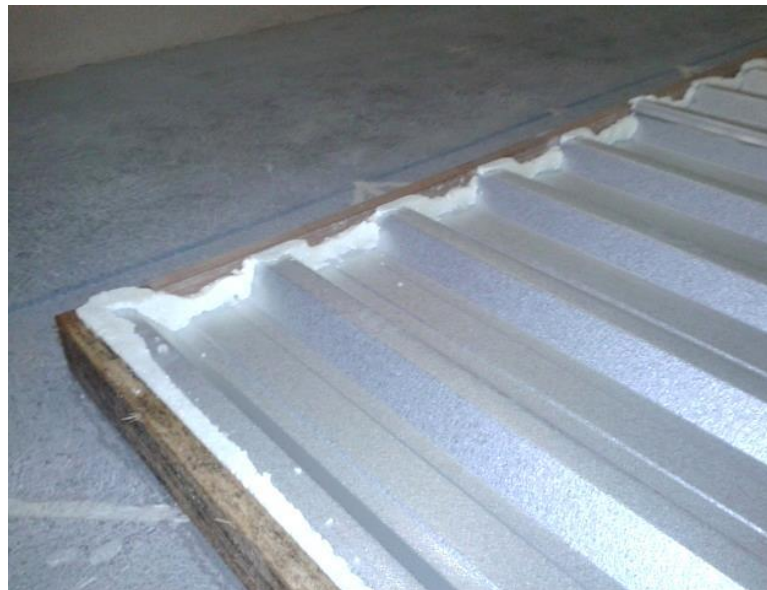
Figura 37 - Imagem do posicionamento da amostra na câmara reverberante.



Fonte: Autora, 2016.

Posteriormente, os espaços entre a moldura e as telhas foram preenchidos com poliuretano expandido, conforme mostra a Figura 38, com tempo de secagem de 24hs. Com a finalidade de minimizar possíveis interferências além das ondulações próprias das telhas.

Figura 38 – Preenchimento dos vazios entre telha e moldura com poliuretano expandido.

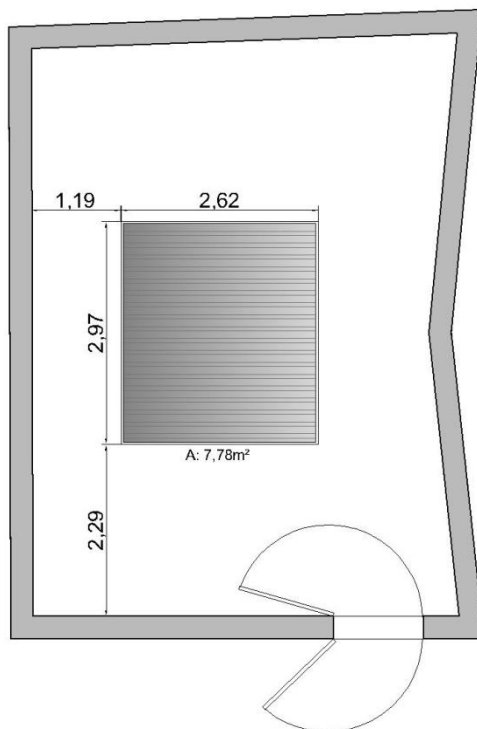


Fonte: Autora, 2016.

Em relação ao posicionamento, a amostra foi colocada conforme Figura 39, obedecendo as recomendações da ASTM C 423. Segundo a Norma, a telha não pode ficar

paralela a nenhuma das paredes da câmara e deve ficar afastada 0,75cm de qualquer superfície reflexiva.

Figura 39 - Esquemática do posicionamento da amostra na câmara reverberante.



Fonte: Autora, 2016.

3.1.3 Equipamentos utilizados e posicionamentos

Iniciaram-se os ensaios com a câmara reverberante vazia, isso significa sem a amostra de telhas; e posterior a isso com a amostra posicionada na câmara.

Para a realização do ensaio, foram escolhidas duas posições distintas para a fonte sonora e dez posições para os microfones. Totalizando sessenta medições durante o experimento, pois são compilados três valores em cada ponto.

Para a obtenção dos dados experimentais foram utilizados os equipamentos descritos no Quadro 10.

Quadro 10 – Descrição dos equipamentos utilizados no ensaio de absorção sonora.

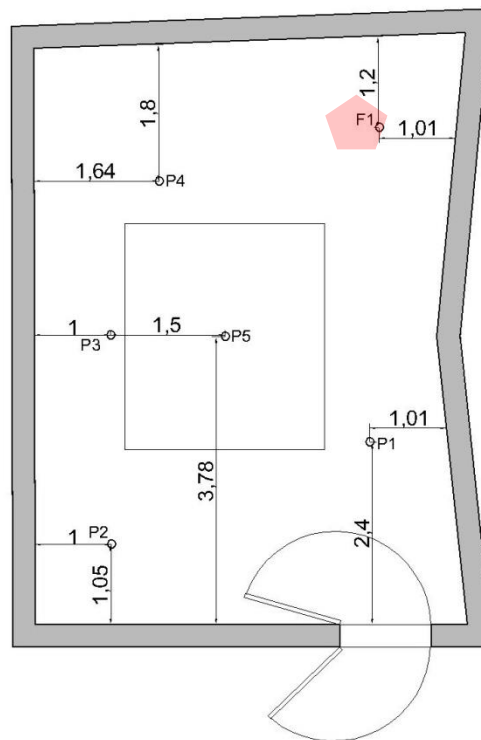
Quant.	Equipamento	Modelo	Marca
1	Fonte Sonora dodecaédrica	4224	Brüel & Kjaer
1	Tripé para fonte sonora	UA 08-01	Brüel & Kjaer
1	Microfone de campo difuso capacitivo de ½’’	4189	Brüel & Kjaer
1	Tripé para suporte do microfone	UA 1317	Brüel & Kjaer
1	Medidor do nível de pressão sonora, tipo 1:	2270	Brüel & Kjaer
1	Calibrador sonoro	4231	Brüel & Kjaer
1	Amplificador de sinal	2716	Brüel & Kjaer
1	Higro-Thermometer	Active Air	Hidrofarm

Fonte: Autora, 2016.

De acordo com a norma ASTM C423, os microfones devem ser omnidirecionais, calibrados e posicionados em no mínimo 5 posições para cada posição de fonte. Tais posições devem ser mantidas a pelo menos 0,75m de qualquer superfície da câmara e pelo menos 1,5m entre si.

Conforme pode ser visto na Figura 40, a fonte nº1 foi posicionada ao fundo da câmara e as posições de microfones distribuídas de modo uniforme, próximas dos cantos e no meio da câmara, pois a boa distribuição espacial proporciona uma avaliação global.

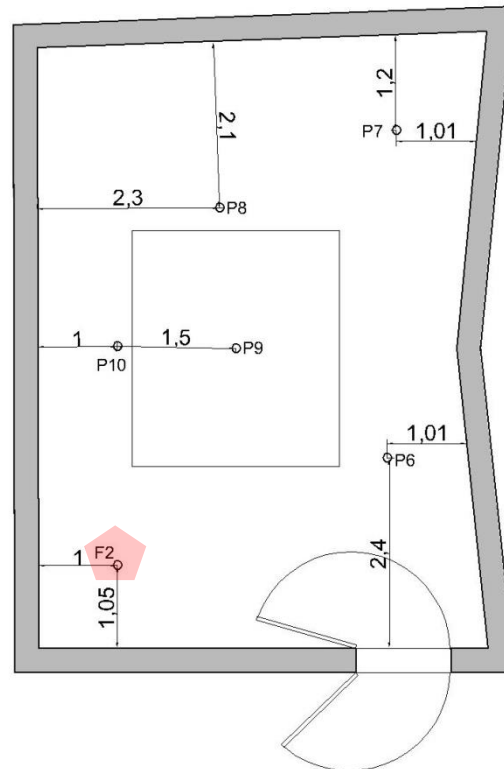
Figura 40 – Localização dos pontos de microfone de 1 a 5 e fonte nº 1.



Fonte: Autora, 2016.

Já a fonte nº 2, foi posicionada no lado oposto à primeira posição de fonte. As posições de microfones se mantiveram muito próximas às anteriores, conforme Figura 41.

Figura 41 – Localização dos pontos de microfones de 6 a 10 e fonte nº 2.



Fonte: Autora, 2016.

Fatores relativos às condições climáticas dentro da câmara reverberante, durante as medições, devem ser monitoradas, de acordo com a Norma ASTM C423. A norma estipula que a umidade relativa do ar deve ser maior ou igual a 40%. Durante os ensaios, a taxa de umidade variou de 85% a 87%.

Em relação à temperatura mínima e máxima, a Norma não estabelece limites, apenas comenta que os desvios de temperatura não devem exceder 5°C , visto que condições climáticas podem alterar os resultados dos ensaios. O monitoramento, realizado através do *Higro-Thermometer*, detectou que a temperatura sofreu um desvio máximo de $0,3^{\circ}\text{C}$, se mantendo próximo dos 23°C , durante a realização dos ensaios.

O equipamento utilizado demonstra a temperatura em graus *Celsius* e o percentual de umidade.

Após o posicionamento correto da amostra, a verificação das condições climáticas e a calibração do microfone, iniciaram-se as medições dos tempos de reverberação, por meio do

Método do Ruído Interrompido. Este método consiste em excitar a sala com um ruído de banda larga, durante tempo suficiente para que a pressão sonora seja constante na sala. Logo em seguida, a fonte é interrompida e o decaimento é medido, através de um medidor de nível de pressão sonora.

Em relação ao tipo de ruído, foi escolhido o rosa, devido as características desse ruído serem intermediárias entre as o ruído branco e o ruído vermelho. Também, conforme recomendação da Norma ASTM C 423, as medições foram executadas em bandas de 1/3 de oitava, nas frequências de 500Hz a 5kHz.

Obtiveram-se, assim, os tempos de reverberação (T20 e T30), para a posterior etapa de cálculo, que forneceu o Coeficiente de absorção sonora (α) da amostra.

3.2 ENSAIOS DE PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA

3.2.1 Local de realização dos ensaios

As medições relativas à perda de transmissão sonora também foram realizadas no . Laboratório de Engenharia Acústica (LEAC) da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, porém dessa vez na câmara reverberante dupla. A qual possui sala de emissão com volume total de 67m³ e a sala de recepção com 60m³. A ISO 10140 - *Acoustics - Laboratory measurement of sound insulation of building elements- Part 2: Measurement of airborne sound insulation*, especifica que a sala de maior volume deve ser a sala de emissão.

Esta câmara também foi construída com paredes, teto e piso em concreto armado com espessura de 30 cm e a estrutura apoiada em elementos de neoprene para isolá-la das demais edificações. Conforme a Figura 42, é possível notar que as paredes da câmara não são paralelas e a mesma possui porta dupla, em chapa de aço, vedada com material resiliente no seu contorno.

Figura 43 – Vista da montagem da estrutura para sustentação das telhas.



Fonte: Autora, 2016.

Para fins de ensaio, esta armação de madeira foi fixada na câmara reverberante com parafusos e recebeu a aplicação de poliuretano expandido em todo o seu perímetro, conforme mostra a Figura 44.

Figura 44 – Aplicação de poliuretano expandido no perímetro da estrutura de sustentação.



Fonte: Autora, 2016.

Posteriormente, foram fixadas as telhas sanduíche do tipo telha + EPS, com os parafusos autoperfurantes para costura e fixação, conforme explicado na Figura 32, localizada na seção 2.3 alínea 2.3.5 Fixação e Arremates. Para tal procedimento utilizaram-se os parafusos indicados e uma parafusadeira a bateria, conforme Figura 45.

Figura 45 – Processo de fixação com parafusos de fixação e costura respectivamente, e aspecto final.



Fonte: Autora, 2016.

O elemento teste recebeu um acabamento com espuma expansível de poliuretano em todo o seu perímetro, somente no lado da emissão. Essa vedação da amostra de telhas está visível na Figura 46.

Figura 46 – Processo de preenchimento do perímetro das telhas com espuma expansível de poliuretano.



Fonte: Autora, 2016.

Com os procedimentos descritos, o resultado final da amostra assemelha-se a situação real da estrutura de sustentação de telhas sanduíche, conforme pode ser visualizado nas Figuras 47 e 48.

Figura 47 – Vista da amostra finalizada pela sala de emissão.



Fonte: Autora, 2016.

Figura 48 – Vista da amostra finalizada pela sala de recepção.



Fonte: Autora, 2016.

3.2.3 Equipamentos utilizados e posicionamento – Medição de *TR*

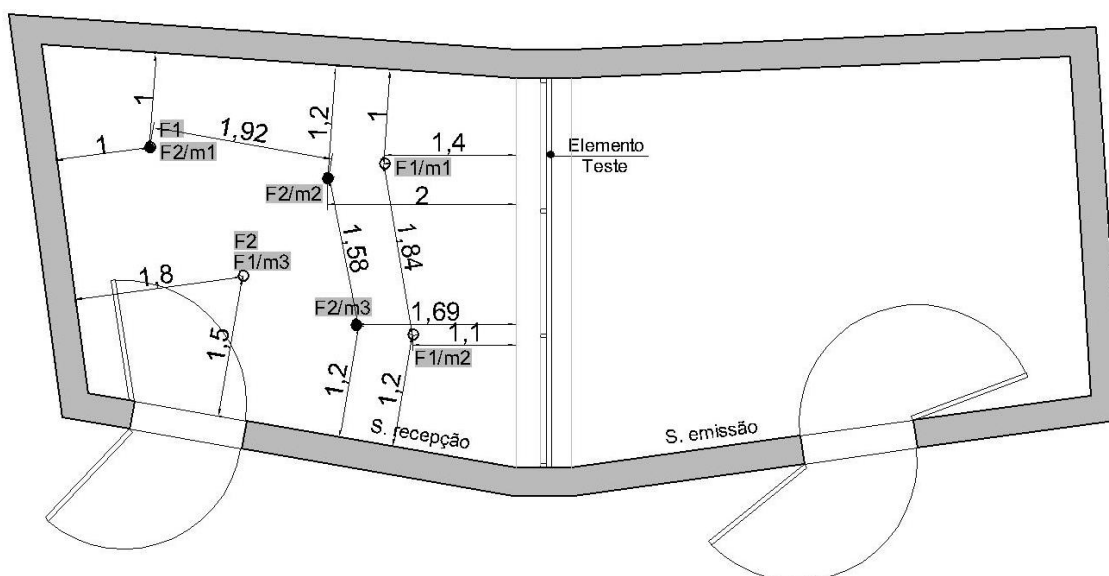
Conforme determina a norma ISO 10140, sempre antes de fazer as medições de perda de transmissão sonora, deve-se conhecer a área de absorção sonora equivalente da sala de recepção, através da medição do tempo de reverberação (*TR*).

Para a medição do *TR*, a ISO 10140 determina que seja utilizada a Norma ISO 354:2003, a qual especifica que sejam utilizadas pelo menos duas posições de fonte e três posições de microfone para cada fonte, totalizando seis referências de *TR*.

Nas medições de *TR* os pontos de microfone foram distribuídos da maneira mais uniforme possível, respeitando as exigências da ISO 354:2003, a qual especifica que eles devem estar posicionados a pelo menos 1m de qualquer superfície da câmara ou do elemento teste e no mínimo 1,5m das demais posições de microfone.

Outra recomendação da norma é a de que as duas posições de fonte devem ficar distantes a pelo menos 1,5 metros uma da outra e posicionadas pelo menos 1 metro de qualquer superfície da câmara ou do elemento teste. Já os microfones devem ser colocados no mínimo 1,5 metros das outras posições de microfone e estar afastado das paredes da câmara e do elemento teste pelo menos 1m. No ensaio, as posições de fonte foram localizadas na parte mais ao fundo da sala de recepção, que seria a posição mais distante do elemento teste, conforme Figura 49.

Figura 49 – Localização dos pontos de microfone e fonte para medições de *TR*.



Os equipamentos utilizados para o ensaio foram os mesmos descritos anteriormente no Quadro 10, apresentado na seção 3.1 Ensaio de absorção sonora, na alínea 3.1.3 Equipamentos utilizados e posicionamentos.

A ISO 354:2003 determina que a temperatura se mantenha maior que 15°C e umidade relativa do ar permaneça entre 30% e 90%. Nos ensaios de *TR*, a temperatura se manteve em 21,6°C e a umidade ficou na média de 66%. A Norma determina, também, que o *TR* deve ser medido em bandas de 1/3 de oitava, nas faixas de frequência de 100 a 5000Hz.

3.2.4 Equipamentos utilizados e posicionamento – Perda de Transmissão Sonora.

Para o ensaio da perda de transmissão sonora (*PT*) do elemento construído na câmara, foram utilizados os equipamentos descritos no Quadro 11.

Quadro 11 – Descrição dos equipamentos utilizados no ensaio de *PT*.

Quant.	Equipamento	Modelo	Marca
1	Fonte Sonora dodecaédrica	4224	Brüel & Kjaer
1	Tripé para fonte sonora	UA 08-01	Brüel & Kjaer
2	Microfone rotativo capacitivo de ½”	4189	Brüel & Kjaer
2	Tripé para suporte do microfone	UA 1317	Brüel & Kjaer
1	Medidor do nível de pressão sonora:	2270	Brüel & Kjaer
1	Calibrador sonoro	4231	Brüel & Kjaer
1	Amplificador de sinal	2716	Brüel & Kjaer
1	<i>Higro-Thermometer</i>	<i>Active Air</i>	Hidrofarm

Fonte: Autora, 2016.

A diferença em relação aos equipamentos utilizados anteriormente é a utilização do microfone rotativo, conforme Figura 50.

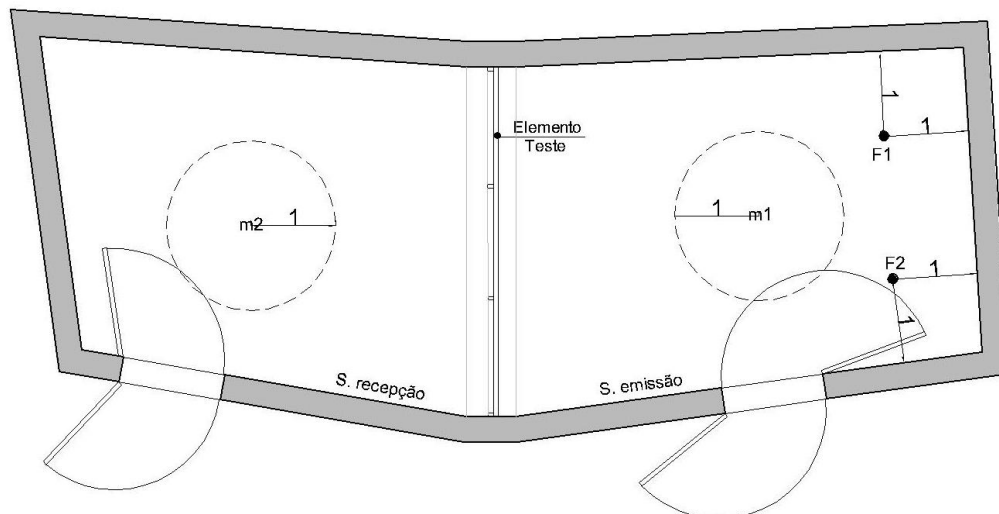
Figura 50 – Vista da montagem do ensaio de *PT* pela câmara de recepção.



Fonte: Autora, 2016.

Seguindo as recomendações da ISO 10140, foi gerado um campo sonoro difuso na câmara de emissão, através da colocação de uma fonte omnidirecional em duas posições diferentes (F1 e F2). Os microfones rotativos (m1 e m2), com 1m de raio, foram localizado no centro das salas (emissão e recepção), conforme Figura 51.

Figura 51 – Localização dos pontos de fonte e microfone para o ensaio de perda de transmissão sonora.



Fonte: Autora, 2016.

As medições utilizaram o método do ruído interrompido e abrangeram as faixas de frequência de 100 a 5000Hz, em banda de 1/3 de oitava, com duração de 32 segundos (Tempo de um giro completo do microfone). A *PT* foi avaliada a partir dos índices de redução sonora, *R*, fornecidos pelo medidor do nível de pressão sonora.

Também o ruído de fundo foi medido após cada medição de perda de transmissão sonora, aproveitando que os microfones já estavam posicionados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos nas medições de Absorção e Perda de Transmissão da telha sanduíche do tipo telha + EPS, realizadas nas câmaras reverberantes de absorção e transmissão sonora do LEAC/UFSM.

Os valores do coeficiente de absorção (α) e do índice de redução sonora (R_w) foram analisados segundo critérios especificados nas Normas NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho e NBR 15575:2013 - Edificações habitacionais – Desempenho. Houve, também, a comparação dos dados de outros materiais obtidos em pesquisas.

4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO À ABSORÇÃO SONORA

Conforme recomendação da NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, é necessário fazer a classificação da telha, de acordo com o Quadro 6 mostrado na seção 2.4, alínea 2.4.2. Para esta classificação leva-se em conta o NRC da telha analisada. Na escala proposta pela Norma, o menor valor é 1 que equivale a absorção sonora $\leq 25\%$ e valor máximo é 5, que corresponde a um NRC $\geq 90\%$ de absorção.

No caso da telha analisada, ela está classificada, no que diz respeito à absorção sonora, na categoria 1, que é a classificação mais baixa. Os valores obtidos, a partir dos ensaios realizados são mostrados no Quadro 12.

Quadro 12 – Coeficientes de absorção da telha sanduíche (Telha + EPS) e seu NRC.

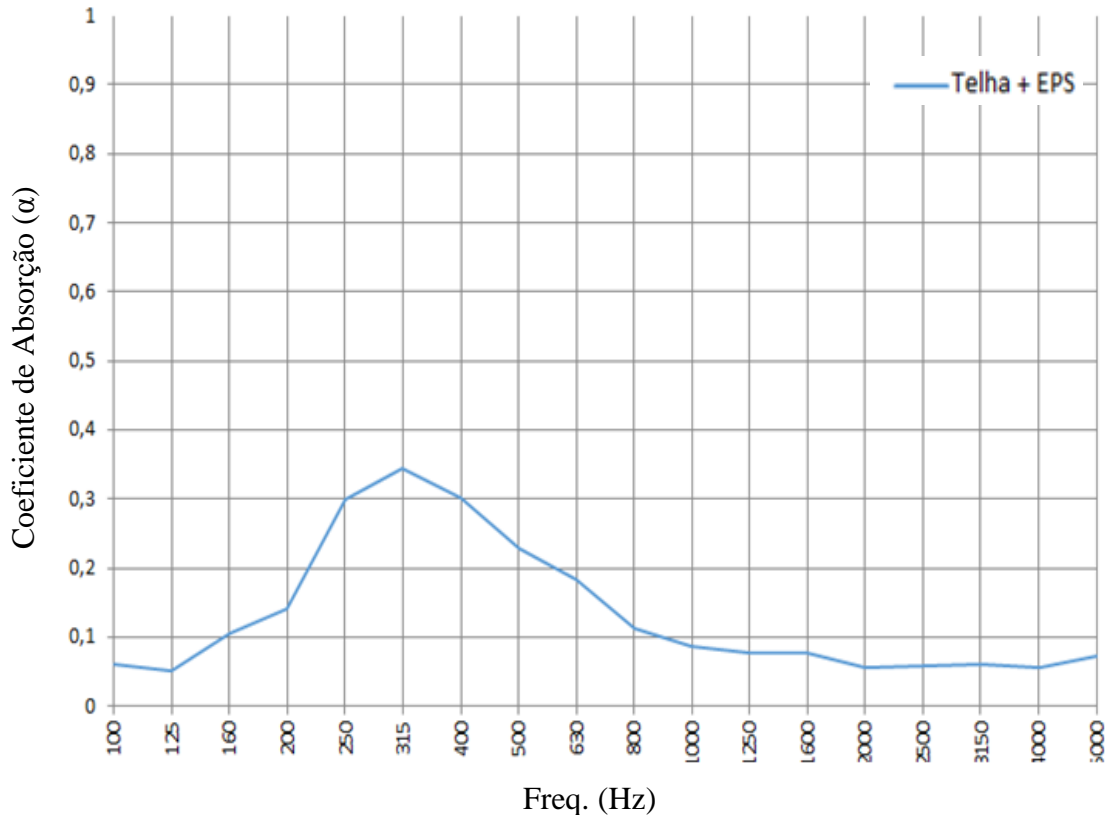
Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)						NRC
	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	
Telha sanduíche (Telha de aço Galvanizado + Poliestireno expandido EPS)	0,06	0,30	0,23	0,09	0,06	0,06	0,17

Fonte: Autora, 2016.

Percebe-se que a telha analisada, a qual apresenta um NRC $< 0,20$, pode ser considerada um material reflexivo, especialmente devido à composição do seu elemento superior (a telha de aço galvanizado).

Pela Figura 52, é possível visualizar graficamente o comportamento da telha sanduíche do tipo telha + EPS, em relação aos coeficientes de absorção sonora, por frequências.

Figura 52 – Coeficientes de absorção sonora da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm).

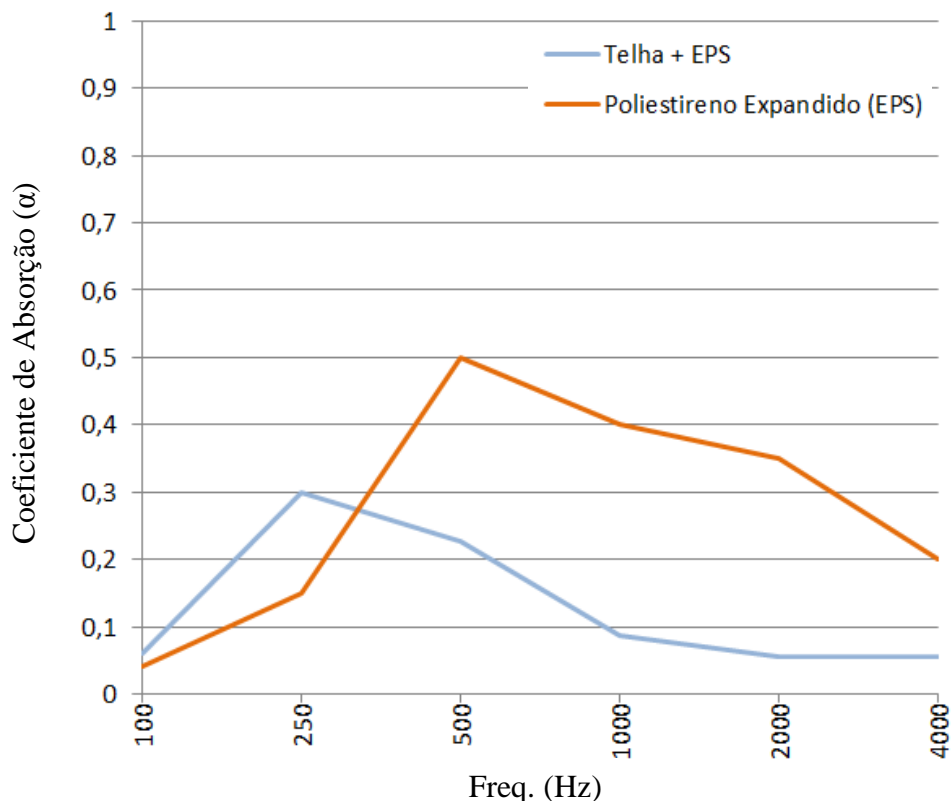


Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)						NRC
	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	
Telha sanduíche (Telha de aço Galvanizado + Poliestireno expandido EPS)	0,06	0,30	0,23	0,09	0,06	0,06	0,17

Fonte: Autora, 2016.

Nota-se que houve um aumento de absorção, em relação ao seu comportamento geral, em especial nas bandas de 250 e 500 Hz, que pode ser explicado, em parte, pela natureza do EPS, conforme Figura 53.

Figura 53 – Coeficientes de absorção sonora (α) da telha sanduíche (Telha + EPS) e do EPS.



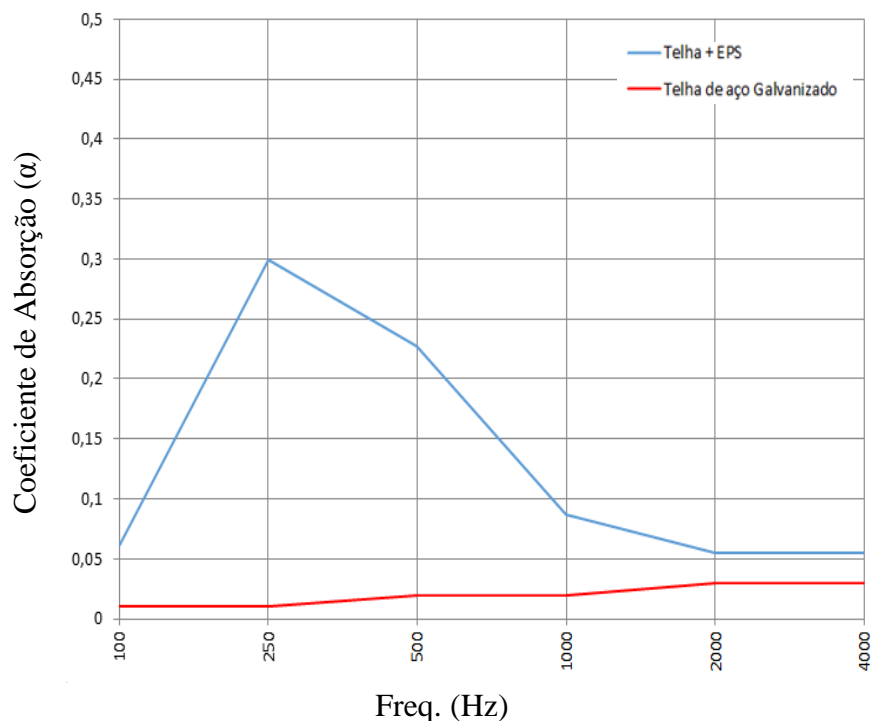
Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)						NRC
	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz	
Telha sanduíche	0,06	0,30	0,23	0,09	0,06	0,06	0,17
Poliestireno Expandido (EPS)	0,05	0,15	0,5	0,4	0,35	0,2	0,35

Fonte: ACOUSTIC TRAFFIC (2015).

Quando os coeficientes de absorção da telha sanduíche (Telha + EPS) foram comparados aos coeficientes do Poliestireno expandido (EPS), notou-se que o comportamento da telha como dispositivo absorvedor, também ocorreu em função do EPS ter este comportamento naturalmente.

Considerando o coeficiente de absorção de outros materiais aplicados em coberturas, apresentado no Quadro 2, na seção 2.1 Acústica, alínea 2.1.2 Absorção Sonora, é possível dizer, que a telha analisada tem um melhor desempenho, em relação a absorção sonora, do que outras telhas usuais na construção brasileira. Por exemplo, a telha simples de aço galvanizado, que tiveram em todas as frequências um coeficiente de absorção menor que da telha sanduíche (Telha + EPS), conforme Figura 54.

Figura 54 – Comparação dos coeficientes de absorção sonora da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm) com telha de aço galvanizado.



Material	Frequência central da banda de oitava (Hz)					
	125	250	500	1kHz	2kHz	4kHz
Telha sanduíche	0,06	0,30	0,23	0,09	0,06	0,06
Telha de aço Galvanizado	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03

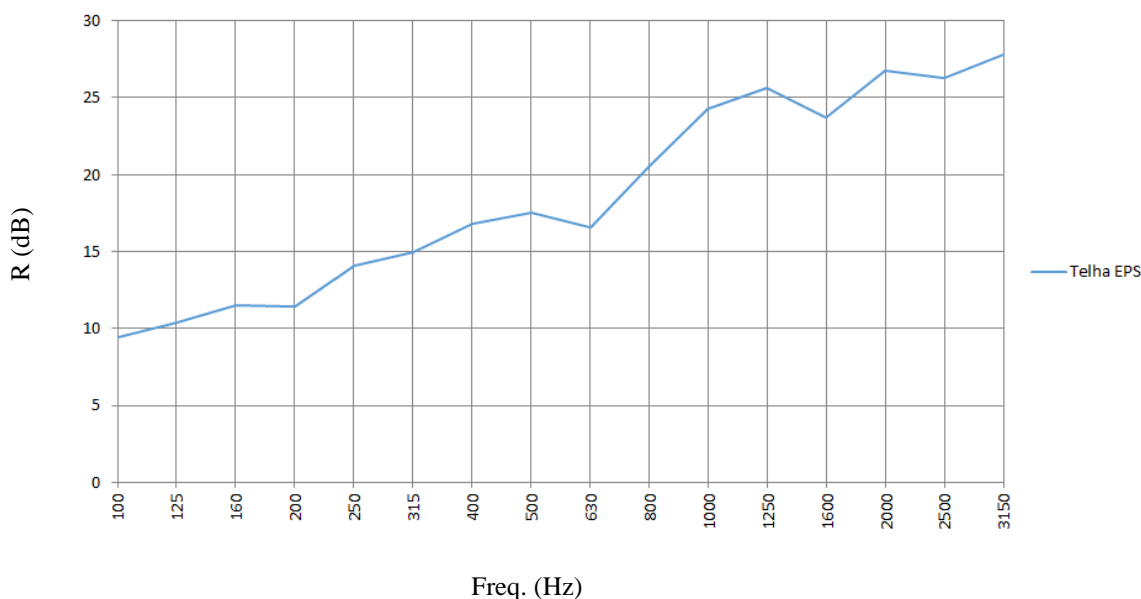
Fonte: Autora, 2016.

4.2 AVALIAÇÃO DA PERDA DE TRANSMISSÃO SONORA

A parte 4 da ISO 10140:2010 recomenda que o ruído de fundo deva ser no mínimo 6 dB menor do que o NPS do sinal e preferencialmente 15 dB menor. No ensaio de perda de transmissão, a diferença entre o ruído de fundo e o nível do sinal foi maior que 6 dB, em todas as faixas de frequência.

De acordo com a Figura 55, pode-se dizer que a Telha sanduíche (Telha + EPS) tem um isolamento sonoro mínimo de 8 dB. O comportamento da telha analisada melhora conforme aumenta a frequência do som. Quando comparado a outros materiais usuais em sistemas de cobertura, a telha sanduíche se mostra interessante, porque a tipologia ensaiada pode ser considerada a mais simples dentre as telhas compostas, já que os outros modelos de telhas possuem materiais mais densos ou mais camadas de material.

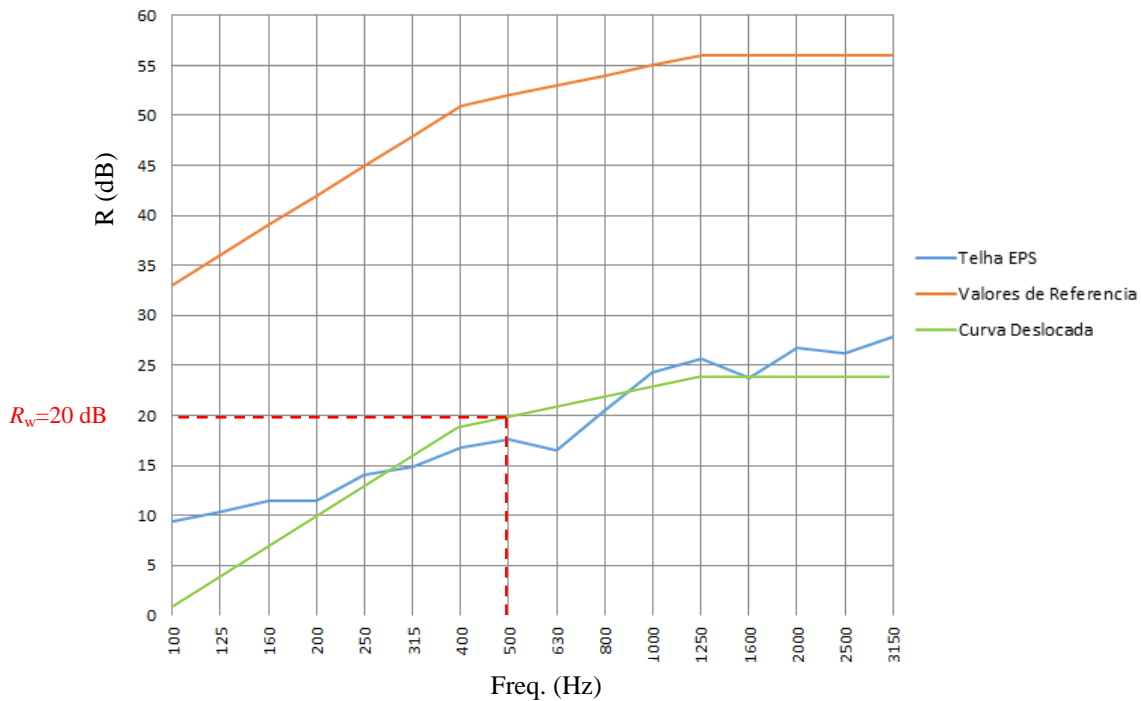
Figura55 – Isolamento sonoro da telha sanduíche do tipo Telha + EPS (40mm).



Fonte: Autora, 2016.

A telha ensaiada apresentou um R_w de 20dB, conforme mostra a Figura 56.

Figura 56 – Espectro da perda de transmissão sonora e curva de referência para determinação do R_w .



Fonte: Autora, 2016.

Uma comparação pode ser feita em relação à telha Top Steel¹ da Brasilit, a qual apresenta o isolamento sonoro de 19 dB, enquanto que a Telha sanduíche analisada possui um $R_w = 20$ dB., constatando-se que o desempenho das duas é semelhante.

Da mesma maneira que o ensaio de absorção sonora, a NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, pede que a telha seja classificada quanto ao isolamento sonoro de acordo com o Quadro 5, mostrado na seção 2.4, alínea 2.4.2. Onde ela pode ser enquadrada na escala 1 já que possui um $R_w = 20$ dB.

No que diz respeito ao modo de montagem das telhas, pode-se fazer uma relação com as situações simuladas por Pisani (2008, p. 88), que avaliou a influência do transpasse de cortinas black-out no isolamento sonoro. No estudo, a autora aponta que, quando a cortina sofre transpasse, ocorre um ganho de isolamento nas médias e altas frequências, tendo uma média de aumento de isolamento de 7 dB, nas frequências mais altas, a cada 5 cm que transpassa. As telhas sanduíche possuem o transpasse longitudinal de 5 cm e superior de 10 cm, visto pelos fabricantes somente como garantia de estanqueidade à água. Sem dúvida os níveis de isolamento atingidos tiveram contribuição deste modo de fixação das telhas. Outra

¹ Top Steel. Acoustical performance test report. Intertek-ATI, [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida

possibilidade de melhoria, que é indicada pelas entidades de telhas de aço, é a colocação de fitas de vedação nestes transpasses. Embora ela raramente seja usada pela maioria dos consumidores finais, possivelmente esta vedação proporcione um melhor isolamento sonoro, já que assim estariam sendo eliminadas possíveis frestas.

4.3 CONSIDERAÇÕES SOBRE A NBR 16373:2015 E PROPOSIÇÃO DE ROTINA PARA ANÁLISE DE TELHAS COMPOSTAS

Considerando a avaliação experimental para análise da telha sanduíche, desenvolvida segundo a NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, observa-se que há muitas informações subentendidas que dificultam a realização dos ensaios.

É necessária, por isso, a criação de uma rotina que facilite e a execução e minimize os erros decorrentes de interpretações equivocadas das normas técnicas envolvidas.

A Norma NBR 16373 indica a ASTM C423 para o ensaio de absorção sonora e, para a medição e determinação do isolamento acústico do material, recomenda a ISO 10140-2 e ISO 717-1. Tais normas são utilizadas para ensaios de absorção e isolamento de quaisquer materiais, apresentando apenas os procedimentos referentes ao modo de execução dos ensaios, inclusive definindo valores mínimos para a amostra, mas não referem como deve ser executada a colocação e/ou fixação da amostra.

Percebe-se, com isso, que há uma lacuna importante na norma NBR 16373, pois a mesma não acrescenta nenhuma colaboração significativa em relação a ensaios especificamente realizados em telhas.

No item 3 – Termos e Definições, sub-item 3.13 a Norma define como materiais termoisolantes e/ou acústicos: lã de vidro, lã de rocha, lã de Pet, Polisocianurato (PIR), Poliuretano (PUR), Poliestireno expandido (EPS) e o Poliestireno Extrudado (XPS). Não há especificação ou exigência mínima em relação a tais materiais, como por exemplo: Densidade, Peso/m², Espessura, Resistência, entre outros, para que sejam considerados influenciadores do desempenho acústico. O emprego da palavra termoacústica na nomenclatura de telhas ou outros painéis compostos, leva ao entendimento de que os materiais que servem para isolamento térmico possuem comportamento idêntico no que se refere ao desempenho acústico, o que não é verdade. Seria mais conveniente a denominação sanduíche ou composta, fazendo menção às diversas camadas possíveis na telha ou painel.

Outro item inexistente na norma é a indicação do modo de fixação das telhas conforme estrutura de telhado. Para tal informação os interessados dependem de manuais divulgados

pela Associação Brasileira da Construção Metálica (ABCEM) e pelos fabricantes, que criam a sua formatação. Acredita-se que a Norma deva alertar sobre os cuidados com a fixação e a vedação de painéis e das telhas sanduíche.

Em relação à avaliação quanto à absorção sonora, a NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, a Norma se mostrou confusa, mesmo sendo específica para telhas e painéis. A recomendação que se tem por parte da Norma é que o ensaio de absorção sonora deve ser feito, mas não é estipulado em qual lado da telha/painel ou se com as duas faces.

A lógica indica que se deva fazer conforme ficaria no local de instalação, o que significa com a face refletora para cima, porém em telhas que possuem algum tipo de acabamento como forro, forro-filme, painel perfurado, entre outros, a análise da parte inferior da telha poderia dar uma resposta importante quanto à reverberação, principalmente se for aplicado em grandes espaços. É necessário avaliar-se, ainda, a inclinação da telha, que pode influenciar os resultados.

No que diz respeito à transmissão sonora, a NBR 16373:2015 faz referência apenas ao ruído aéreo. Acredita-se que, por ser uma Norma específica sobre telhas, seria interessante que a mesma trouxesse, também, recomendações relativas à avaliação do ruído de impacto da chuva, pois a maioria dos locais em que as telhas compostas são aplicadas caracteriza-se como de grande porte, ou seja, pavilhões industriais, esportivos e obras públicas. Nesses espaços, quando a incidência de chuva é muito forte, o desconforto acústico é extremamente grande, pelo impacto da gota no telhado e pela reverberação dos espaços.

É possível a realização de testes de impacto de chuva em telhas, conforme foi apresentado na seção 2.1 Acústica, através da utilização de equipamentos que consigam controlar a precipitação e a dimensão da gota. Este equipamento nada mais é que um simulador de chuva. Inicialmente a simulação de chuva foi considerada para este trabalho, onde se utilizaria o equipamento descrito e desenvolvido por Sphor *et al* (2015, p. 411), porém devido a precipitação não estar totalmente controlada para os padrões observados nas publicações sobre o tema, a ideia foi adiada.

Sendo assim, este trabalho propõe uma rotina experimental para análise de telhas e painéis sanduíche, contribuindo para uma avaliação mais próxima da realidade das telhas, conforme mostra o Quadro 13.

Quadro 13 - Sugestão de rotina de ensaio para a avaliação de telhas compostas.

Ensaio	Sugestão
Absorção Acústica	<p>Permanecem as recomendações de o material ser ensaiado conforme método definido na ASTM C423, para determinação dos coeficientes de absorção sonora (α) e NRC. Os valores de NRC servem à população leiga como simples comparativo entre materiais, enquanto que os coeficientes de absorção devem estar disponíveis para os técnicos especificadores e projetistas. Recomenda-se que os índices de absorção e transmissão sonora devam vir impressos na telha, da mesma maneira que a marca e outras informações já vem registradas.</p>
	<p>Os ensaios devem ser executados nos dois lados da telha se as faces forem de materiais (texturas) ou conformação diferenciada.</p>
	<p>A amostra deve ser executada, com uma moldura de madeira ou aço no seu perímetro, de dimensão conforme altura da telha, devendo ser vedados os espaços entre a moldura e a telha, com o emprego de uma fita, poliuretano expansível ou outro material que apresente o mesmo efeito, tendo por finalidade evitar a difração nas bordas. A amostra deverá ser elevada e se manter no mínimo 0,75m de qualquer superfície refletora.</p>
	<p>Como os materiais compostos podem apresentar comportamentos delineados por algum componente específico, é necessário saber os coeficientes de absorção (α) de cada material que compõe a telha isoladamente, para que se possa avaliar qual o componente que controla o desempenho e saber onde é preciso fazer alguma alteração, como alterar a espessura por exemplo.</p>
Isolamento Acústico Ruído Aéreo	<p>Mantém-se a orientação de que as telhas e painéis compostos devem ser ensaiados conforme método definido na ISO 10140-2 e que o cálculo do Índice de Redução Sonora (R_w) deva ser obtido conforme a ISO 717-1.</p>
	<p>Os ensaios de isolamento acústico devem ser executados simulando uma instalação (terças ou trama) real de estrutura para fixação das telhas. A amostra, após a montagem, deve ser vedada no seu entorno, pois é o material que estará sendo testado e não o sistema de cobertura.</p>
Isolamento Acústico	<p>Também para a análise em relação ao ruído de impacto da chuva, orienta-se que seja utilizada a ISO 10140-5:2010/Amd 1:2014 - <i>Rainfall sound</i>, a qual especifica instalações de teste de laboratório e equipamentos para medições de isolamento sonoro de elementos da construção.</p>

Fonte: Autora, 2016.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

A preocupação com questões relativas ao conforto ambiental tem se mostrado cada vez mais presente na sociedade. Com o surgimento das normas voltadas ao desempenho de edificações, tem aumentado a busca por certificações de materiais, por parte das empresas. Devido à expansão do mercado da construção civil, o conforto acústico tem sido exigido, até mesmo pelos consumidores finais.

O trabalho apresentado tem por objetivo estabelecer uma metodologia de análise da performance acústica para telhas sanduíche, considerando padrões normativos e ensaios experimentais, pois as normas existentes não orientam de forma clara e precisa a execução de ensaios e a análise das respostas obtidas.

Através da compilação de referências normativas, bibliográficas e informações técnicas referentes às telhas sanduíche; assim como pela avaliação da performance acústica, em laboratório, de telha sanduíche do tipo telha + EPS, determinando o índice de absorção sonora e a perda de transmissão sonora, torna-se possível propor uma rotina de análise e melhorias para o desempenho acústico das telhas.

É interessante frisar que as referências em relação à transmissão sonora e à absorção de som em telhas ou telhados é bastante escassa, assim como sobre a medição de impacto da chuva em coberturas.

O procedimento experimental para análise da telha, o método da câmara reverberante em campo difuso, segue as instruções da ASTM C423, para o ensaio de absorção sonora, enquanto que para o ensaio de Isolamento Sonoro a norma empregada é a ISO 10140.

Em relação ao desempenho de absorção acústica é possível dizer que a amostra de telha ensaiada se comporta como um dispositivo de absorção do tipo membrana, influenciado pela natureza do EPS e pelo modo de montagem da amostra para o ensaio.

Também se pode dizer que a telha quando instalada, do ponto de vista do ruído externo à edificação, se trata de um material reflexivo, já que apresentou um $NRC = 0,17$ dB, enquanto os materiais para serem considerados de absorção devem ter $NRC \geq 0,20$. Tal fato pode ser positivo, tendo em vista que, por isso, a face externa reflete boa parte do som incidente.

A NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho deveria indicar que o ensaio fosse feito nas duas faces da telha, pois as telhas compostas

costumam ser fabricadas com a face interna em diversos materiais (Poliestireno, poliuretano, lâ de rocha, PVC,...) e conformações (Trapezoidal, lisa, ondulada, perfurada,...), os quais podem ser interessantes para o condicionamento acústico de determinados locais, sem exigir grandes projetos de adequação ou intrusão de muitos materiais de natureza diferentes para corrigir a acústica de recintos.

Em relação ao isolamento sonoro, a telha analisada apresentou um Índice de Redução Sonora Ponderado, $R_w = 20$ dB, desempenho acima do esperado, pois resultou próximo ao desempenho de outra telha mais valorizada comercialmente

Comparando os resultados encontrados nos ensaios, percebeu-se que a telha composta do tipo telha + EPS pode ser uma boa escolha do ponto de vista acústico, pois outras tipologias de telhas, quando comparadas as telhas largamente utilizadas nas construções brasileiras, como é o caso da telha de fibrocimento e aço galvanizado, ela se mostra mais eficiente no que diz respeito a absorção sonora.

Além disso, o trabalho fez uma análise da NBR 16373:2015 - Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho, que é a primeira norma brasileira específica sobre desempenho de telhas sanduíche. Constata-se que a mesma precisa ser mais clara em relação aos ensaios de desempenho acústico e definição das características de materiais que podem ser utilizados na fabricação de telhas e painéis compostos, que realmente sejam significativos no desempenho acústico final.

Elencaram-se sugestões de adequação para a Norma NBR 16373, no processo de ensaio, como por exemplo, ensaiar os dois lados da telha sanduíche, para obtenção do coeficiente de absorção das duas faces, elevar a amostra, e ensaiar os materiais que compõe a telha separadamente.

Outra sugestão foi à análise das telhas em relação ao impacto da chuva, fato que é decorrente na natureza e desconsiderado na caracterização acústica de materiais pela atual norma brasileira. Sugere-se que seja utilizada a ISO 10140-5: 2010/Amd 1:2014 - *Rainfall sound* que especifica instalações de teste de laboratório e equipamentos para medições de isolamento sonoro de elementos de construção.

Enfim, este trabalho proporciona um panorama a respeito da situação de comercialização, processos de fabricação e materiais que podem compor as telhas sanduíche, assim como fornece dados referente à caracterização acústica de uma tipologia de telha (Telha + EPS), já que as fontes de literatura da área de acústica que trabalham com telhas são escassas. E, da mesma forma que outros autores, o trabalho abre precedentes para mais estudos em relação ao ruído de impacto da chuva em telhados, entre outras sugestões. A

existência de normas claras e de materiais devidamente certificados garante aos consumidores finais as condições para exigir desempenho acústico nas edificações, bem como dos materiais aplicados a ela.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como objetivo principal estabelecer uma metodologia de análise para telhas sanduíche, considerando padrões normativos e ensaios experimentais ao verificar o comportamento acústico da telha composta com recheio de EPS. Nota-se uma preocupação em relação ao conforto acústico das edificações, os resultados obtidos podem constituir um incentivo a continuidade das pesquisas, conforme sugestões:

- Avaliar acusticamente outros tipos de telhas compostas;
- Medir a influência de transpasses em telhas simples e compostas;
- Caracterizar parâmetros físico-químicos e mecânicos dos materiais utilizados para a fabricação de telhas sanduíche, para fins de comparação com características acústicas;
- Estudar a influência dos transpasses, no desempenho acústico nas telhas em geral.

As inovações provocadas pelo resultado desses estudos podem colaborar na certificação de materiais aplicados à construção civil, o que implicaria na adequação de diversos setores fabris, e conseqüentemente ajudaria no desenvolvimento da acústica frente a sociedade, que seria a maior beneficiada.

6. REFERÊNCIAS

ACOUSTIC TRAFFIC LCC. Homepage. Ucrânia, 2015. Disponível em:

<http://www.acoustic.ua/st/web_absorption_data_eng.pdf>. Acessado em: 09 out. 2015.

ANEEL. Resolução 482, de 17 de Abril de 2012. Dispõe sobre condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 19 abr. 2012, seção 1, p. 53, v. 149, n. 76 e retificado no D.O. de 08 mai. 2012 e 19 set..2012.

ARCELORMITTAL. **Guia de especificações**. 9. ed. Ago. 2014.

ADRUBALI, F. Survey on the acoustical properties of new sustainable materials for noise control. In: **Euronoise**, 8 p., 2006, Tampere / Finlândia.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA CONSTRUÇÃO METÁLICA. **Manual técnico, telhas de aço**. 2009. 1ed. Disponível em: <<http://www.abcem.org.br/upfiles/arquivos/publicacoes/manual-de-telhas.pdf>>. Acessado em: 07 set. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7013 – Chapas e bobinas de aço revestidas pelo processo contínuo de imersão a quente — Requisitos gerais**. Rio de Janeiro, 2013. 10 p.

_____. **NBR 10151 - Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2000, 4 p.

_____. **NBR 11364 - Painéis termoisolantes à base de lã de rocha — Especificação**. Rio de Janeiro, 2014, 4 p.

_____. **NBR 11726 - Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico – Especificação**. Rio de Janeiro, 1979, 6 p.

_____. **NBR 11752 - Materiais celulares de poliestireno para isolamento térmico na construção civil e refrigeração industrial**. Rio de Janeiro, 2007, 11 p.

_____. **NBR 12094 - Espuma rígida de poliuretano para fins de isolamento térmico - Determinação da condutividade térmica - Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1991, 11 p.

_____. **NBR 12179 - Tratamento acústico em recintos fechados – Procedimento**. Rio de Janeiro. 1992, 9 p.

_____. **NBR 13047 - Mantas termoisolantes à base de lã de rocha**. Rio de Janeiro, 2014, 4 p.

_____. **NBR 14513 – Telhas de aço revestido de seção ondulada – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2008. 8 p.

_____. **NBR 14514 – Telhas de aço revestido de seção trapezoidal - Requisitos.** Rio de Janeiro, 2008. 8 p.

_____. **NBR 14807 - Peças de madeira serrada – Dimensões.** Rio de Janeiro, 2002, 2 p.

_____. **NBR 15366 - Painéis industrializados com espuma rígida de poliuretano, Parte 1: Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2006, 53 p.

_____. **NBR 15575 – Edificações habitacionais – Desempenho (Parte 1,2,3,4,5,6)** Rio de Janeiro, 2013. 283 p.

_____. **NBR 16313 - Acústica – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2014, 11 p.

_____. **NBR 16373 – Telhas e painéis termoacústico – Requisitos de desempenho.** Rio de Janeiro, 2015. 9 p.

ASSOCIATION STANDARD TEST METHOD. ASTM C423 09a - Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method. Pennsylvania, EUA, 2013. 18 p

AKKERMAN, S., ALCORAGI, F., ANDO, C.M. Ruído no planejamento urbano de áreas ocupadas. *In: XXV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA – SOBRAC*, p. 311, 2014, Campinas/ SP. **Anais...** Campinas/ SP, 2014, 805 p. Disponível em: <http://acustica.org.br/wp-content/uploads/2014/10/ANAIS_Encontro_SOBRAC_2014_XXV_red.pdf>. Acesso em: 15 Nov. 2015.

BALAGAH. K.O. Noise of Simulated Rainfall on Roofs. **Applied Acoustics**. V.31, 245-264p., 1990.

BALAGAH. K.O.; GRIFFIN, D. A Consolidated Theory for Predicting Rain Noise. **Building Acoustics**, V.19, n. 4, 221–248p., 2012.

BARING, J. G. A.; HIRASHIMA, S. Q. S.; ALUCCI, M. P.; ASSIS, E. S. Considerações sobre a lei municipal de proteção ambiental contra a poluição sonora vigente no município de Belo Horizonte – MG. *In: XIV Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC*, 2012, 6p., 2010, Juiz de Fora/ MG. **Anais...** Juiz de Fora/ MG. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/acervos/resumo/codigoAutor/89445/codigo_biblio/113778/cod/1>. Acesso em: 23 Nov. 2015.

BARRY, P. Measurement os noise generated by simulated rain on roofs. *In: XIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA – SOBRAC*, p. 160, 2000, Belo Horizonte/ MG. **Anais...** Belo Horizonte/ MG, 2000.

BAYER, E. C.; NUNES, M. F. O.; ZORZI, L. M. O uso de materiais com resíduos poliméricos no Isolamento acústico de fechamentos compostos. *In: XV Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC*, 2014, 10p., Maceió/AL. **Anais...** Maceió/AL. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/artigos/paper_282.pdf>. Acesso em: 25 Nov. 2015.

BELLEI, I. H. **Edifícios industriais em aço**. 2 ed. São Paulo, SP. Ed. Pini,1998, 490 p.

BERTOLI, S. R., FERREIRA, M. F. Conforto Acústico em edifícios residenciais. **Portal de Acústica Vibranews**: Jornal eletrônico especializado em acústica. 2008, p. 1 - 9. São Bernardo do Campo/ SP. Disponível em: <<http://www.vibraneews.com.br/admin/download/artigo-conforto-acustico.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

BIAZAN. **Produtos Metalúrgicos** – Catálogo de Fabricante. [----].

BISCHEL, M. S.; ROY, K. P.; GREENSLADE, J. V. Comparison of ASTM and ISO sound absorption test methods. *In*: **ACOUSTIC PARIS**, 1671 p., 2008, Paris /F rança.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao controle de Ruído**. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2011. 260 p.

BOLOGNESI, T. M. **Acústica e intervenção no ambiente construído: mapeamento dos riscos e estimativa de redução do ruído a partir de propostas de intervenção em uma indústria metalúrgica**. 2008. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara do Oeste, Paraná, 2008.

BRASILIT. TopSteel – **Catálogo de Fabricante**. 2013.

COOK, K. R. Sound Insulation of domestic roofing systems: Part 1. **Applied Acoustics**, V. 13, 109p. – 120p., 1980.

COZIP. **Catálogo de fabricante**. [20--]. Disponível em: <<http://www.cozip.com.br/coberturas-zipadas.html>>. Acesso em: 22 Dez. 2015.

DE MARCO, C. S. **Elementos de acústica arquitetônica**. São Paulo, SP. Ed. Nobel, 1940 -, 129 p.

DOUBOT. P. The sound of rain on a steel roof. **Journal of Sound and Vibration**., V.10, 1968. 144-150p.

EMETU. **Catálogo de fabricante**, [20--]. Disponível em: < <http://www.emetu.com.br/>>. Acesso em: 24 Nov. 2015.

ETERNIT. Catálogo de Fabricante, 2015.

FARIA, F. R. J. **Construção com Painéis Sanduíche de Silicato de Cálcio, Cimento e EPS**. 2009. 116 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade da Madeira, Funchal, Portugal, 2009.

FERREIRA, M. de F. **Nível de conforto acústico: Uma proposta para edifícios residenciais**. 2009. 257 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2009.

GERGES, S. **Ruído: fundamentos e controle**. 2 ed. Florianópolis: Ed. NR Editora, 2000, 206 p.

GERGES, S. CUSTÓDIO, M. F. Qualidade sonora através de ensaios experimentais em centro de convenções multiuso. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 11 p., 2006, Florianópolis/ SC. **Anais...** Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2006/artigos/ENTAC2006_0237_247.pdf>. Acesso em: 20 de. 2015.

HOPKINS, C. **Sound Insulation**. Slovenia: Elsevier Ltd., 2007. 622p.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Galpões para uso geral**. 2010. 1ed. 74p. Disponível em: <<https://docente.ifrn.edu.br/marciovarela/disciplinas/estruturas-metalica-e-madeira/estrutura-metalica/manual-cbca>>. Acessado em: 31 dez. 2015.

ISO TELHA. **Catálogo de fabricante**, 2015.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 354 - Acoustics -- Measurement of sound absorption in a reverberation room. 2003. 21 p.

_____. *ISO 717-1 - Acoustics -- Rating of sound insulation in buildings and of building elements-- Part 1: Airborne sound insulation*. 2013. 18 p.

_____. *ISO 10140-2 - Acoustics -- Laboratory measurement of sound insulation of building elements-- Part 2: Measurement of airborne sound insulation*. 2010. 32 p.

_____. *ISO 10140-5 - Rainfall sound*. 2010/Amd 1:2014. 7 p.

KRUGER, E.; BORTOLI, P. S. Diagnóstico da poluição sonora urbana na região central de Curitiba. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 10p., 2002, Foz do Iguaçu/ PR. **Anais...** Foz do Iguaçu/ PR. Disponível em: <http://www.infohab.org.br/entac2014/2002/Artigos/ENTAC2002_1031_1040.pdf>. Acesso em: 23 Nov. 2015

LOGACUSTICA.**Empresa**. Porto, Portugal, 2016; Disponível em: <<http://logacustica.com/coeficientes-de-absorcao-sonora-sound-absorption-coefficients/>>. Acesso em: 11 Jan. 2016.

MATSUL. Galpão Express: Frisomat Delta. **Catálogo de fabricante**, 2015. Disponível em: <<http://www.matsul.com.br/pt/produtos/galpao-express-frisomat-delta>>. Acesso em: 22 Dez. 2015.

MCLOUGHLIN, J. Noise generate by simulated Rainfall on Profiled Steel Roof Structures. **Applied Accoustics**, ed. 42, 239p. – 255p. 1994.

METALINE. Metaline 440. **Catálogo de fabricante**. [20--]. Disponível em: <<http://www.metaline.de/wPortugiesisch/produkte/440.php?navanchor=2110109>>. Acesso em: 23 Dez. 2015.

MELO, M. V. S. **Avaliação do desempenho de soluções estruturais em aço para telhados coloniais**. 2011. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011.

MENDEZ, A. M., STORNINI, A. J., SALAZAR, E. B., GIULIANO, H. G., VELIS, A. G., AMARILLA, B. C. **Acústica Arquitectonica**. 1 ed. Avellaneda, Província de Buenos Aires – AR. Ed. TESTONE Hnos. 1994. 238 p.

MENDONÇA, E. C.; PAIXÃO, D. X.; BARBOSA, A. R. Níveis de ruído urbano em Santa Maria /RS : O caso de tráfego veicular. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 9p., 2010, Canela/ RS. **Anais...** Canela/ RS. Disponível em: < <http://www.infohab.org.br/entac2014/2010/arquivos/637.pdf>>. Acesso em: 23 Nov. 2015.

MOLITERNO, A. **Caderno de projetos de telhados em estruturas de madeira**. 2.ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher LTDA, 1997. 461 p.

MORAES, E., NEGRÃO, A. Percepção subjetiva do ruído noturno por pessoas de diferentes faixas etárias. In: 40º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA ; ENCUESTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA, 5 p., 2009, Cádiz / Espanha. **Anais...** Cádiz/ Espanha. Disponível em: < <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4698971>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

MORAES, E.; SIMÓN, F.; GUIMARÃES, L.; FERNANDEZ, M. J. Caracterización del ruido de la ciudad de belem. In: CONFERENCE PROCEEDINGS ACÚSTICA , 8p., 2008, Coimbra/ Portugal. **Anais...** Coimbra/Portugal. Disponível em: < http://digital.csic.es/bitstream/10261/8157/1/Caracterizacion_ruido_Belem.pdf>. Acesso em: 22 Nov. 2015.

MINISTERIUM FÜR VERKEHR UND INFRASTRUKTUR BADEN-WÜRTTEMBERG. Städtebauliche Lärmfibel Hinweise für die Bauleitplanung /**Manual de Ruído Urbano: Recomendações para o ordenamento do território (Tradução nossa)**. Stuttgart, Alemanha, 2013, 200 p. Disponível em: < http://www.staedtebauliche-laermfibel.de/pdf/Laermfibel_2013.pdf>. Acesso em: 23 dez. 2015.

NEWMANN, R. B. **Acústica arquitetônica**. [S.l.] : Eucatex, [19--]. 66 p.

OCELBRAZIL. Catálogo de fabricante, [20--]. Disponível em: < <http://www.ocelbrasil.com.br/>>. Acesso em: 24 Nov. 2015.

PAIXÃO, D. X..da. **Caracterização do isolamento acústico de uma parede em alvenaria, utilizando Análise Estatística de Energia (SEA)**. 2002. 182 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2002.

PAIXÃO, D. X..da. Ruído e cidade: A necessidade de uma convivência harmônica. In: **Ruído em cidades latino-americanas**. MEDINA, M.G.O., GONZÁLEZ, A.E. (org.), 2012. 1 ed, Guadalajara, México. Cap. IX. 139p. – 153p.

PIERRARD, J. F.; AKKERMAN, D. **Manual ProAcústica sobre a Norma de Desempenho**. 2015. 1ed. Disponível em: < <http://www.proacustica.org.br/publicacoes/manuais-tecnicos-sobre-acustica/manual-proacustica-sobre-a-norma-de-desempenho.html>>. Acessado em: 07 dez. 2015.

PISANI, A. P. G. **Estudo de cortinas black-out como componentes no isolamento sonoro de fechadas**. 2008, 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/ RS, 2008.

PINI. **Telhas metálicas pré-pintadas**. Separata de: Equipe de Obra, São Paulo, v. 40Set. 2011.

PINI. **Manta de subcobertura**. 2013. Revista eletrônica de arquitetura e Engenharia, São Paulo, V. 57, mar. 2013. Disponível em: <<http://equipedeobra.pini.com.br/construcao-reforma/57/artigo278058-1.aspx>>. Acesso em: 22 Dez. 2015.

PIZZINATTO. **Catálogo de fabricante**, [2015]. Disponível em: <<http://www.grupopizzinatto.com.br/home/>>. Acesso em: 24 Nov. 2015.

RIBAS, R. A. J.; SOUZA, H. A.; ANDRADE, M. M. N.; PEREIRA, D. J. R. Análise de desempenho térmico e acústico de Painéis de fechamento em multicamadas. In: XIV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído - ENTAC, 540 – 548p., 2012, Juiz de Fora/ MG. **Anais...** Juiz de Fora/ MG. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/5486>>. Acesso em: 17 Mar. 2015.

RIGHI, P. C. da R. **Ferramenta para análise do desempenho acústico das edificações para fins de financiamento imobiliário**. 2013. 157 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria,RS, 2013.

RODRIGUES, M. N. **Metodologia para definição de estratégia de controle e avaliação de ruído ocupacional**. 2009. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, 2009.

SILVA, M. M. **Simulação empregando análise estatística de energia (SEA) e verificação experimental de perda de transmissão sonora de um painel sanduíche**. 2009, 250 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2009.

SCHAFER, R. M. **A afinação do mundo**. 1 ed. São Paulo, SP.Ed: UNESP, 2001, 381 p.

SLAMA, J. G.; MORAIS, L. R.; NOGUEIRA, R. C. Lógica Fuzzy: Avaliação do conforto ambiental. In: X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC, 9p., 2004, São Paulo/ SP. **Anais...** São Paulo/ SP. Disponível em: <ftp://ip20017719.eng.ufjf.br/Public/AnaisEventosCientificos/ENTAC_2004/trabalhos/PAP0447d.pdf>. Acesso em: 23 Nov. 2015.

SOUZA, L. C. L. de; ALMEIDA, M. G. de; BRAGANÇA, L. de. **Bê-a-Bá da acústica arquitetônica: Ouvindo a arquitetura**. 1. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2006. 149 p.

SPHOR, R. B.; CORCINI, A. L M.; PELLEGRIN, J.; BONFATI, J. B.; DAL SOTO, M. F.; CARDOSO, T. Desenvolvimento e validação de um simulador de chuvas portátil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, 2015. ISSN 2318 – 0331. Disponível em: <<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=1&ID=157&SUMARIO=5066>>. Acesso em: 15 jan. 2015.

TELHA FORTE. **Especificação de produtos**. Itapevi, SP. 2015. Disponível em: <<http://www.telhaforte.com/site/telha-termo-acusticas>>. Acesso em: 9 dez. 2015.

TELHA SUL. **Telhas** – Catálogo de Fabricante. 2010.

TOPSTEEL. **Telhas** – Catálogo de Fabricante. 2013.

VERGARA, E. F., BASTOS, L. P., MELO, G. S. Materiais não-convencionais utilizados para controle de ruídos: Mito ou realidade. In: XXIV ENCONTRO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ACÚSTICA – SOBRAC, p. 88, 2012, Belém/ PA. **Anais...** Belém/ PA, 2012, 618 p. Disponível em: <http://acustica.org.br/wp-content/uploads/2014/10/ANAIS_Encontro_SOBRAC_2012_XXIV.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2015.

ZAJAKOFF, F. **Tecnologias em coberturas metálicas**. Separata de: Revista Arquitetura & Urbanismo, São Paulo, v. 244, Jul. 2014.

ZANNIN, P. H. T.; LACERDA, A. B. M.; MAGNI, C.; MORATA, T. C.; MARQUES, J. M. Ambiente urbano e percepção da poluição sonora. **Ambiente. Soc.** 2005; V. 8 (2), 85-98p. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=000114&pid=S1516-1846201200030000300002&lng=es>. Acesso em: 15 Mar. 2015.

ZANNIN, P. H. T.; FERREIRA, A. M. C.; SANT'ANA, D. Q. Comparação do tempo de reverberação e índice de transmissão da fala (STI) em salas de aula construídas em décadas diferentes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 9, n. 3, p. 125-139, jul./set. 2009. Porto Alegre, 2015. ISSN 1678-8621.