



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO, DE CIÊNCIAS EXATAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA TÊXTIL
ENGENHARIA TÊXTIL

João Guilherme Poli Mariucio

UMA REVISÃO SOBRE NÃOTECIDOS E SUA RELEVÂNCIA COMO
MATERIAIS APLICADOS PARA FINS ACÚSTICOS: ATUALIDADES,
POSSIBILIDADES E TENDÊNCIAS

Blumenau – SC

2023

Mariucio, João Guilherme Poli

Uma revisão sobre nãotecidos e sua relevância como materiais aplicados para fins acústicos: atualidades, possibilidades e tendências / João Guilherme Poli Mariucio ; orientador, Carlos Rafael Silva de Oliveira, 2023.

70 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Blumenau, Graduação em Engenharia Têxtil, Blumenau, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Têxtil. 2. Nãotecidos. 3. Acústica. 4. Isolamento sonoro. 5. Tecnologia têxtil. I. Silva de Oliveira, Carlos Rafael . II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Têxtil. III. Título.

João Guilherme Poli Mariucio

Uma revisão sobre nãotecidos e sua relevância como materiais aplicados para fins acústicos: atualidades, possibilidades e tendências

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Graduação em Engenharia Têxtil do Centro Tecnológico, de Ciências Exatas de Educação da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Têxtil.

Orientador(a): Prof. Dr. Carlos Rafael Silva de Oliveira

Blumenau – SC

2023

João Guilherme Poli Mariucio

**Uma revisão sobre nãotecidos e sua relevância como materiais aplicados para fins acústicos:
atualidades, possibilidades e tendências**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel e
aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Têxtil

UFSC Blumenau, 07 de julho de 2023



Coordenação do Curso

Banca examinadora



Prof. Carlos Rafael Silva de Oliveira, Dr.

Orientador



Prof.(a) Maria Elisa Philippsen Missner, Dr.(a)

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC



Prof. Brenno Henrique Silva Felipe, Dr.

Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC

Blumenau, 2023.

Dedico esta conquista a toda minha família e amigos, que sempre acreditaram em mim e me deram apoio quando precisei.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais que me deram o privilégio da vida e sempre fizeram o que estava em seu alcance. Principalmente a minha mãe.

Sou imensamente grato aos meus avós, Dinorá e Jose Ivo. Sem eles não seria possível chegar até aqui.

Obrigado tia Nana e tio Jon, por todo apoio, aprendizado, carinho e atenção. Vocês foram, são e serão sempre muito importantes para mim. Além deles, gratidão a toda minha família, principalmente ao meu primo-irmão Renato, que esteve comigo durante grande parte dessa fase sempre me dando apoio. É um privilégio pensar que todos, literalmente todos, sempre insinuaram querer o meu bem, independente da situação.

A todos os professores, que fizeram parte dessa jornada tão especial em minha vida e que me acolheram sempre com muito carinho. Principalmente os da Engenharia Têxtil, meu muito obrigado. Foram anos de muito crescimento e aprendizado. Em especial, agradeço ao professor Dr. Carlos Rafael, que topou me orientar nessa etapa tão importante.

Gratidão a todos os meus amigos e amigas. Sem vocês essa estrada teria sido muito mais dura e sofrida. Não sei se eu teria forças o suficiente para chegar até aqui sozinho. Provavelmente não.

Muito obrigado a Universidade Federal de Santa Catarina, pública e de qualidade. Posso considerar que foi minha segunda casa durante todos esses anos. Tenho muito orgulho de ser UFSC.

“Tudo o que ouvimos é uma opinião, não um fato. Tudo o que vemos é uma perspectiva, não a verdade.”

(Marco Aurélio)

RESUMO

Problemas relacionados ao excesso de resíduos têxteis e poluição sonora tem sido cada dia mais frequentes, isso se dá pelo crescimento acelerado das áreas urbanas e industriais. A presença do ruído constante pode ser nociva a longo prazo, podendo não apenas prejudicar o aparelho auditivo, mas também causar doenças cardíacas, problemas de hipertensão, perda de memória, entre outros. Diante deste cenário, a indústria têxtil pode trazer soluções interessantes no que diz respeito ao reaproveitamento de parte desse resíduo em aplicações de materiais absorvedores de som. Nesta condição, o presente estudo pretende apresentar a relevância dos nãotecidos como proposta de materiais de baixo custo, ecológicos para fins acústicos. Para realização deste trabalho foi realizado um estudo de revisão bibliográfico, estruturado a partir de livros, artigos e estudos de revisão. Primeiramente, tratou-se de abordar um pouco do que são nãotecidos, matérias-primas e seus processos. Posteriormente, uma breve fundamentação teórica sobre o que é a acústica, como surgiu e algumas áreas de aplicações destes materiais acústicos. Por fim, foi realizado o estado da arte do uso de nãotecidos para fins acústicos, a partir de estudos recentes.

Palavras-chave: Acústica; Isolante acústico; Nãotecidos; Absorvedor acústico, Isolamento sonoro.

ABSTRACT

Problems related to textile waste excess and noise pollution have become increasingly frequent, driven by the rapid growth of urban and industrial areas. The presence of constant noise can be harmful in the long term, potentially not only impairing the auditory system but also causing heart diseases, hypertension, memory loss, among other issues. Given this scenario, the textile industry can provide interesting solutions regarding the reuse of a portion of this waste in sound-absorbing material applications. In this context, the present study aims to present the relevance of nonwovens as a proposal for low-cost and eco-friendly materials for acoustic purposes. To carry out this work, a literature review was conducted, structured from books, articles, and review studies. Firstly, an overview was provided on what nonwovens are, their raw materials, and manufacturing processes. Subsequently, a brief theoretical foundation was presented on what acoustics is, its origins, and some areas of application for these acoustic materials. Finally, the state-of-the-art use of nonwovens for acoustic purposes was examined based on recent studies.

Keywords: Acoustics; Acoustic insulation; Nonwovens; Acoustic absorber; Soundproofing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estruturas de Tecido Plano, Malha e Não-tecido.	3
Figura 2. Processo de Formação da Manta	9
Figura 3 Efeito da Absorção e Reflexão.	17
Figura 4 Efeito de Difusão.	18
Figura 5 . Efeito de reverberação em ambientes fechados.	20
Figura 6: Imagens de TNT de Lã agulhada e consolidada por costuramento, (a) TNT agulhado, (b) TNT com costura paralela, (c) TNT com costura zig e zag.....	41
Figura 7 Artigos encontrados na Base de Dados no Scopus.	44
Figura 8 Artigos encontrados na Base de Dados no ScienceDirect.	45

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Contextualização histórica dos Nãotecidos	4
Quadro 2. Técnicas de Consolidação	10
Quadro 3. Acabamentos Especiais para TNTs.....	11
Quadro 4 Breve Histórico da Acústica Arquitetônica Ocidental.....	12
Quadro 5. Parâmetros importantes dos têxteis acústicos.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
aC	Antes de Cristo
CLT	Consolidação das Leis do Trabalho
dB	Decibel
dC	Depois de Cristo
EPI	Equipamento de Proteção Individual
Hz	Hertz
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NR	Norma Regulamentadora
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PA	Poliamida
PE	Polietileno
PES	Poliéster
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PU	Poliuretano
PVB	Polivinil butiral
TNT	Tecido não-tecido
TR	Tempo de reverberação

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivos	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Os não tecidos	3
2.1.1 Contexto histórico.....	4
2.1.2 Matérias-primas fibrosas para a produção de Não tecidos	5
2.1.3 Processos de Formação da Manta de Não tecido.....	8
2.1.4 Processos de Consolidação da Manta de Não tecido	10
2.1.5 Acabamentos Especiais	10
2.2 Acústica.....	12
2.2.2 Contexto histórico.....	12
2.2.3 Princípio da Acústica	16
2.2.4 Controle de Ruído	20
2.2.4.1 Normas vigentes de segurança.....	21
2.2.5 Importância do controle acústico na vida cotidiana	21
2.2.5.1 Edificações	23
2.2.5.2 Estúdios de Gravação	24
2.2.5.3 Salas de Concerto	25
2.2.5.4 Igrejas	26
2.2.5.5 Indústria	27
2.2.5.6 Interior de Automóvel	28
2.2.5.7 Sala de Aula	29
2.2.6 Materiais utilizados para o controle acústico	30
2.2.6.1 Concreto	32
2.2.6.2 Espumas	33
2.2.6.3 Compósitos Laminados	33
2.2.6.4 Madeira	34
2.2.6.5 Têxteis	35
3 METODOLOGIA.....	39

4 O USO DE NÃOTECIDOS PARA FINS ACÚSTICOS.....	40
4.1 Relevância e Tendências	44
5 CONCLUSÕES	46
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS / GAP's	48

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de materiais têxteis voltados para a acústica tem crescido bastante, esse fator se dá pelo aumento substancial da população e progresso industrial que tem gerado cada vez mais poluição sonora (TAO et al., 2021). Apesar do desenvolvimento de têxteis com propriedades acústicas ser um desafio para a indústria têxtil, pode também ser entendido como uma grande oportunidade de inovação. Os materiais acústicos comumente usados geram muitos problemas ambientais que impactam negativamente a natureza e a sociedade. (PURDY, 1983).

Os materiais têxteis, em especial os TNTs, oferecem grande vantagem financeira, além de minimizar os danos ao meio ambiente, podendo, muitas vezes, serem reciclados, aumentando assim o ciclo de vida útil do produto e em alguns casos, serem acusticamente mais eficientes (KARIMI et al., 2022).

No caso de salas de concertos e estúdios de gravação, a qualidade sonora não está, necessariamente, relacionada à ausência de ruídos constantes, mas sim na melhor experiência do ouvinte ao ser tocado pela música (LONG, 2005). Em outros casos, como por exemplo, em setores industriais, interior de automóveis, entre outras situações, o tratamento acústico está relacionado diretamente com a saúde e segurança das pessoas envolvidas.

Materiais absorventes de som são projetados para melhorar a qualidade sonora e evitar ecos e reverberações desagradáveis dentro de um determinado espaço, reduzindo reflexos e transformando a energia absorvida em calor, isso significa que não são capazes de bloquear o som. Em contrapartida, o isolamento acústico impede que as ondas sonoras entrem ou saiam de um espaço, atuando como uma espécie de barreira acústica (PAUL; AHIRWAR; BEHERA, 2022). A poluição sonora se tornou um dos principais problemas ambientais decorrentes do rápido crescimento das atividades industriais e de transporte. A exposição constante a ruídos acima de 65 dB é considerada prejudicial pela Organização Mundial da Saúde (OMS), não só para os seres humanos, mas também para animais (PADHYE; NAYAK, 2016).

Considerando a acústica arquitetônica como um fator importante para melhorar a qualidade sonora de um determinado ambiente, o presente estudo pretende apontar a relevância e possibilidades de aplicações dos TNTs como alternativa de materiais para fins acústicos. Este estudo destaca a importância do avanço tecnológico em materiais têxteis para tratamento acústico, a fim de melhorar

a qualidade de vida das pessoas. A principal motivação para a construção desse trabalho voltado a manutenção acústica a partir de materiais têxteis, surge da necessidade de se discutir possibilidades de melhorar a qualidade de vida das pessoas, apontando o uso de materiais têxteis eficientes, de baixo custo e sustentáveis, supressores de ruído.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Realizar um estudo bibliográfico acerca da relevância dos não tecidos para aplicações acústicas.

1.1.2 Objetivos específicos

- Realizar uma pesquisa bibliográfica voltada a acústica e para tecnologias de não tecido para fins acústicos;
- Estruturar um estado da arte relacionados a pesquisas com não tecidos aplicados na área da acústica;
- Verificar a aplicabilidade de materiais têxteis para proporcionar conforto e segurança acústica em interiores de ambientes diversos.
- Investigar a possibilidade do reaproveitamento de resíduos para produzir materiais acústicos eficientes.
- Estruturar uma análise cientométrica e trazer relevâncias, atualidades e tendências desses materiais não tecidos aplicados na área da acústica do ano de 2019 até junho de 2023.

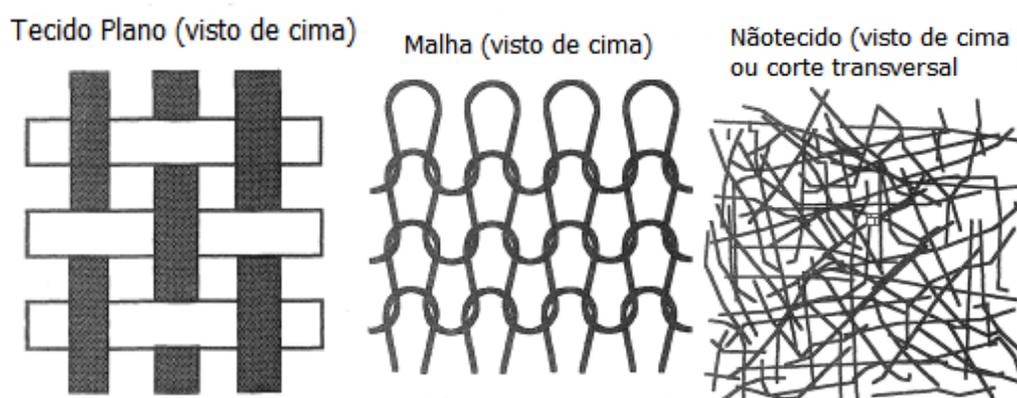
2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta sessão é essencial para construção do presente trabalho de revisão. Desempenha um papel fundamental para a contextualização do tema, que nesse caso, se trata do uso de não tecidos no controle de ruído. Dessa maneira, será construída uma base sólida de conhecimento sobre não tecidos e acústica, baseando-se em estudos anteriores.

2.1 Os não tecidos

Os tecidos não tecidos (TNTs) são materiais de estrutura muito característica, e menos complexa quando comparados com outras estruturas têxteis. A primeira descoberta de uma estrutura planar similar à de um não tecido como conhecemos hoje foi a de um feltro feito de pelos de animais datada de 4500-3000 a.C (CHAUDHARI et al., 2008). Tais estruturas eram utilizadas principalmente como roupas de proteção ou como cobertura de abrigos. Nos tempos atuais, a indústria de TNTs têm crescido rapidamente, e esses materiais, além de sua aplicação em fraldas, filtros, bolsas, geotêxteis, entre outros, também têm encontrado espaço na indústria da moda (CHAUDHARI et al., 2008).

Figura 1. Estruturas de Tecido Plano, Malha e Não tecido.



Fonte: Adaptado de Adanur (1997)

Os TNTs constituem uma classe de materiais caracterizados por sua estrutura formada de fibras descontínuas ou filamentos dispostos ao acaso e compactados, formando de maneira mais ou menos estável uma estrutura planar que muito se assemelha a de um tecido. Diferentemente dos tecidos, os TNTs não possuem uma estrutura construída a partir de fios tramados ou tricotados contendo um padrão, daí

o termo “tecidos não tecidos” ou simplesmente “TNT”, essa diferença é mostrada na Figura 1.

Embora as propriedades mecânicas entre tecidos e TNTs sejam bastante diferentes, ambos têm algo em comum, por serem estruturas têxteis ambos são fundamentalmente constituídos de fibras (contínuas ou descontínuas) usadas como matéria-prima e seu componente principal. A classificação dos TNTs pode ser feita de muitas maneiras, isto é, de acordo com a matéria-prima empregada, orientação do véu (cruzado, paralelo, desordenado), processos de formação da manta, processos de consolidação da manta, natureza química das fibras, gramatura, entre outros.

2.1.1 Contexto histórico

A tecnologia dos não tecidos evoluiu consideravelmente desde o século XV, como pode ser observado no Quadro 1.

Quadro 1 Contextualização histórica dos Não tecidos

PERÍODO	GRANDES MARCOS	RESUMO
Século XV	Evolução indústria papelreira.	Nesse período houve o progresso da indústria de papel.
Meados de 1799	Invenção da primeira máquina de papel.	O francês Louis Robert inventou a primeira máquina de papel intermitente.
Meados de 1853	Invenção para a obtenção de TNT na indústria têxtil.	Graças a um alvará britânico concedido a Belfort, que revelava o uso de cardas, correias transportadoras, cilindros de impregnação, e câmeras de secagem, foi possível instaurar a invenção para a obtenção de TNT na produção de mantas de algodão na indústria têxtil.
1860	Primeiras roupas.	Nesse período foram fabricadas as primeiras roupas feitas de papel nos Estados Unidos.
Década de 1930	Avanço de tecnologia de TNT.	Foram realizados os primeiros experimentos nos Estados Unidos para produção de materiais têxteis a partir da fibra de celulose compactados com látex.
Final do século XVIII	Implementação do processo de consolidação por agulhagem.	Foi quando o processo de consolidação por agulhagem surgiu, graças a William Bywater, que fez a primeira máquina agulhadeira em Leeds, na Inglaterra.
1920	Reconhecimento da agulhadeira.	Foi nesse período em que a máquina criada por William Bywater se tornou conhecida.
1948	Grande marco dos TNTs.	Houve um grande marco para a indústria de TNTs, quando a empresa American Viscose produziu véu de fibras sintéticas.
1949	Produção de entretelas.	A empresa Freudenberg passou a produzir entretelas para confecção de roupas.
1960	Primeiras patentes para produção de TNTs foram criadas.	As empresas Dupont (EUA) e Freudenberg (Alemanha) publicaram as primeiras

		patentes para a produção de TNTs de filamento contínuo usando o método de fiação por fusão. Surgiram também as primeiras patentes para a consolidação de TNTs usando processo hidromecânico da Dupont, chamado <i>spunlaced</i> .
Final da década de 1990	Grande investimento para a indústria de TNT.	Um grande investimento foi feito pelos países escandinavos no processo <i>air laid pulp</i> , que seria um véu com fibras curtas de polpa de celulose dispostas de forma desordenada, em que a maioria das patentes foram mantidas por muitos anos.
Anos 2000	Introdução de materiais de filamentos contínuos trançados de microfibras.	Dois grandes grupos, KGT e Freudenberg introduziram materiais de filamentos contínuos trançados de microfibras (Miratec e Evolon) para o uso em diversas aplicações finais, dentre elas a confecção de roupas.
Início do Novo Milênio	Processo de fibras curtas compactadas com jato de água.	O processo <i>airlay-pulp-spunlaced</i> entraram no mercado. Em suma, melhorias têm sido feitas continuamente para aumentar a eficiência dos equipamentos, desde a preparação da matéria-prima até a consolidação, culminando no desenvolvimento e transição para a era da tecnologia da informação e aplicações finais.

Fonte: Adaptada de Rewald (2006)

2.1.2 Matérias-primas fibrosas para a produção de Nãotecidos

A escolha das matérias-primas a serem utilizadas na preparação do TNT irá depender de sua aplicação final, bem como das características desejadas, como resistência, flexibilidade, absorção, retenção de líquidos, permeabilidade ao ar, e da relação custo/aplicabilidade, entre outras. Cada matéria-prima tem suas características e propriedades, que podem originar vantagens e desvantagens conforme a sua aplicabilidade. Portanto, é importante selecionar as matérias-primas de forma adequada para cada uso específico. As matérias-primas fibrosas podem ser categorizadas como:

- **Fibras naturais:** algodão, lã, rami, linho, juta, sisal, cânhamo, entre outras;
- **Fibras sintéticas:** poliéster, polipropileno, poliamida, acrílico, entre outras;
- **Fibras regeneradas:** viscose, raiom, liocel, modal, acetato, entre outras;
- **Blenda de fibras:** misturas física de diferentes fibras;
- **Fibras recicladas:** Polietileno Tereftalato (PET) recicladas de garrafas plásticas.

A possibilidade de uso de fibras de algodão de qualidade inferior para a fabricação de TNTs, abre uma nova alternativa para o mercado quanto ao uso de resíduos de fiação e a redução de desperdícios. O uso da fibra de algodão quando a alta absorção de umidade e maciez são os principais requisitos do TNTs desejado. Algumas aplicações para o algodão são a confecção de produtos de TNT descartáveis e/ou de uso médico.

A lã, apesar de seu elevado custo, baixa resistência a abrasão e grande tendência de formação de peeling, entrega um elevado grau de absorção, elasticidade, volume, conforto térmico e resiliência (BRODA; BAÇZEK, 2020).

Quanto às fibras artificiais, a viscose foi por muito tempo a fibra mais utilizada na produção de TNTs, essa popularidade é devido ao seu baixo custo, facilidade de formação e consolidação da manta, bem como a possibilidade de produzir TNTs com uma ampla gama de espessuras, comprimentos, acabamentos, frisados e não frisados, fibra branqueada e não branqueada. Suas principais aplicações são, por exemplo, produtos de higiene, fraldas descartáveis e lenços umedecidos (PATEL; BHRAMBHATT, 2008).

A fibra de juta tem um grande potencial para substituir as fibras sintéticas que dominam a indústria de TNTs. No contexto em que vivemos, com novas regulamentações de proteção ao meio ambiente, têm se tornado muito atraente, isso por se tratar de uma fibra de elevada resistência, baixo custo e por ser biodegradável (KOZLOWSKI; MACKIEWICZ-TALARCZYK, 2020). Também tem sido estudado a viabilidade de substituição da fibra de vidro por fibras de juta e fibras de hibisco como reforço em materiais compósitos, usados como componentes estruturais automotivos (HASSAN et al., 2017). A fibra de juta possibilita uma redução de massa do veículo bastante considerável, visto que é bem mais leve em comparação a fibra de vidro, como resultado é esperado menor consumo de combustível. Seria essa outra ótima alternativa para melhorar o desempenho de automóveis e conseqüentemente a redução de impactos ambientais (ALVES et al., 2010).

Fibras de amianto podem ser usadas quando a resistência ao calor é necessária. Além disso, os TNTs de fibra de amianto podem ser utilizados como reforço de materiais plásticos compósitos. Apesar de possuir algumas vantagens técnicas, atualmente o amianto não é muito utilizado devido à sua alta periculosidade. Por serem fibras extremamente finas, podem ser inaladas e ficarem alojadas no

pulmão, causando mutações genéticas e rearranjos de genes que levam ao câncer pulmonar (CHENG et al., 2020).

Na produção de TNTs, as fibras sintéticas são usadas com mais frequência do que as fibras naturais por causa de seu baixo custo, elevado grau de limpeza, uniformidade de propriedades físicas/químicas, maior resistência ao ataque microbiológico e possibilidade de diferentes características dimensionais como títulos, comprimentos e seções transversais, que podem ser adequados para cada finalidade (KALABEK; BABAARSLAN, 2016).

A fibra de poliéster pode ser bastante interessante para a produção de materiais compósitos absorvedores de som, além de possuir baixo custo, boa uniformidade, também é capaz de minimizar o impacto ambiental gerado pela indústria (KALEBEK, 2016). Isso se dá pelo fato de poder ser reciclada com certa facilidade. Além disso, o poliéster também é usado para fabricação e TNTs do tipo entretela, muito utilizado na confecção de punhos e golas (SANTOS, 2022).

A poliamida 6 ou 6.6 tem excelente resistência ao desgaste, boa tolerância ao calor e baixa resistência ao rasgo. A excelente resistência mecânica das poliamidas favorece o seu uso como TNTs compósitos na construção de aeronaves, rotores de helicópteros e outros locais onde a alta rigidez e leveza são os principais critérios (REWALD, 2006).

As fibras acrílicas possuem certas similaridades física com o algodão e lã, dentre suas características principais, estão: secagem rápida, boa resiliência e elasticidade, boa capacidade de refletir a luz e retenção de calor. Porém, apresentam baixa capacidade de absorção de umidade e tingibilidade. Para aumentar a capacidade de absorção de umidade de TNTs compostos de fibra acrílica, comumente mistura-se durante a formação da manta uma certa quantidade de fibras de algodão ou viscose. Nesses casos, os TNTs com maior quantidade de acrílico em sua composição apresentam maior permeabilidade ao ar e maior resistência a abrasão (MOHAMMED; SUKUMAR, 2022).

O polipropileno (PP), assim como o poliéster (PES), está entre as fibras mais utilizadas na fabricação de TNTs, isso se dá pelo fato de poderem ser reciclados, possuírem baixo custo, boa resistência mecânica e fácil termocompactação. Devido a essas e outras características, a fibra de PP é utilizada especialmente em aplicações descartáveis, aplicações geotécnicas, filtração, tapetes, entre outros (LEITE, 2016).

A fibra de vidro é utilizada quando as principais necessidades são resistência ao fogo, calor, exposição às intempéries e absorção de som. São utilizadas também para impermeabilização de telhas, moldes de materiais do interior de automóveis e aplicação de piso de aeronaves, como uma espécie de camada de carpete. Materiais para esses tipos de aplicações também precisam atender padrões rigorosos de inflamabilidade (CAIROLI et al., 2020).

As propriedades dos TNTs são determinadas a partir das propriedades das fibras, do processo de formação e das operações de consolidação da manta. Segundo Rewald (2006), as propriedades da fibra são talvez o ingrediente mais importante em um TNT de sucesso. As propriedades químicas da fibra determinam a resistência dos TNTs à ácidos, bases e solventes, enquanto as propriedades físicas determinam a resposta desses materiais à umidade, forças mecânicas, calor e entre outros.

2.1.3 Processos de Formação da Manta de Não-tecido

Como dito anteriormente, tecidos são estruturas têxteis definidas pelo padrão de tecimento de seus fios. Por outro lado, os não-tecidos são uma espécie de material plano laminar, relativamente elástico e flexível, com variações em sua espessura e que não possuem um padrão de formação nem são formados por fios. Os TNTs podem ser produzidos por diferentes métodos de formação e consolidação da manta. Basicamente a formação da manta se dá pela distribuição consideravelmente uniforme de fibras dispostas ao acaso, que são dispostas sobre um suporte coletor com largura definida e comprimento indefinido. A formação da manta pode ser por via úmida, via seca e via fundida, enquanto os processos de consolidação podem ser resumidos a processos mecânicos, térmicos, químicos ou ainda a combinação desses (MARQUES et al., 2015).

Na formação da manta por via úmida (*wet laid process*), as fibras descontínuas são dispersas em um fluido (e.g., água). Esse método é semelhante à fabricação do papel de ofício, e filtros de papel. Existem algumas características que são intrínsecas a esse método, sendo elas, a capacidade de produção em larga escala, obtenção de um produto homogêneo, grande variedade de produção, sendo capaz de entregar grande versatilidade de espessura e gramatura. O princípio do método e as etapas do processo é ilustrado na Figura 2.

Figura 2. Processo de Formação da Manta



Fonte: Adaptado de Wilks (2001)

No processo de obtenção da manta por via seca, a manta pode ser formada através da cardagem (*carded process*), em que através de cilindros guarnecidos com dentes metálicos acoplados, as fibras aleatórias são dispostas de forma mais ou menos paralelas umas as outras, o que origina a formação de um véu anisotrópico, que pode na sequência ser disposto em camadas de forma cruzada para que o TNT consolidado adquira resistência multiaxial.

Além desse método, existe também a obtenção seca por via aérea (*airlaid process*). A formação da manta de celulose por *airlaid* teve início na indústria de papel e nesse método, um fluxo de ar é usado como meio de dispersão e transferência das fibras para uma zona de formação da manta. Este pode ser considerado o método mais utilizado quando comparado ao demais (RUSSEL, 2022).

O método de obtenção da manta por via fundida também pode ser considerado um método de obtenção a seco, e ser produzido de duas maneiras, a partir da fiação por extrusão contínua (*spunbonded/spunweb*) ou via extrusão por sopro (*meltblown*). Nesse processo, a matéria-prima é recebida na forma de chips, grânulos ou pellets de polímero. Nos dois métodos a matéria-prima termoplástica é fundida e forçada a atravessar micro orifícios tomando a forma filamentar. O polímero fiado após resfriado se solidifica, sendo na sequência estirado e depositado em forma de véu sobre uma esteira. A grande diferença é que no processo por sopro o polímero fundido é forçado por ar quente a atravessar um micro orifício.

Nesse caso, a elevada pressão e velocidade do ar, estrangula a massa polimérica gerando uma extrusão e um estiramento forçado simultâneos, com isso se consegue filamentos ainda mais finos do que os obtidos pela fiação contínua. Os filamentos formados são dispostos aereamente sobre uma esteira coletora que conduz a manta para o processo de consolidação (MATEUS; PEREIRA; GODINHO, 2016).

2.1.4 Processos de Consolidação da Manta de Não-tecido

Os processos de consolidação são etapas subsequentes à formação das mantas de TNT, sendo responsáveis por unir as fibras e aumentar a resistência mecânica do material. Existem diversas técnicas de consolidação, algumas podem ser observadas no Quadro 2.

Quadro 2. Técnicas de Consolidação.

TÉCNICA	RESUMO
Termo-fusão	Neste processo, a manta de fibras é aquecida a uma temperatura um pouco abaixo do ponto de fusão das fibras, mas suficientemente alta para que elas amoleçam e se colem umas às outras. Em seguida, é aplicada pressão com calor para aumentar a adesão das fibras. Este processo é amplamente utilizado para produzir TNTs que serão submetidos a altas temperaturas, como em aplicações automotivas e de isolamento térmico.
Calandragem	Neste processo, a manta de TNT é comprimida entre dois rolos aquecidos e pressionados. Esse processo aumenta a densidade do TNT e a resistência à tração. Também pode ser utilizado para alterar as propriedades de superfície do TNT, como suavidade e brilho.
Agulhagem	Este processo consiste em perfurar a manta de TNT com agulhas que se movem verticalmente, causando um emaranhamento das fibras na espessura do material. As agulhas são de vários tipos e formatos, podendo ser escolhidas conforme a densidade e a gramatura do TNT desejado. A agulhagem pode ser usada para obter uma variedade de propriedades finais, incluindo resistência à tração, rigidez, espessura, permeabilidade ao ar e à água
Resinagem	Neste processo, produtos químicos são aplicados na manta de fibras para que as fibras se colem entre si. Esses produtos químicos podem ser aplicados antes ou depois da formação da manta e podem incluir resinas termo fusíveis, pós adesivos e monômeros ligantes.
Hidroentrelaçamento	Este processo envolve o atravessamento da manta por um conjunto de jatos d'água de alta pressão, que entrelaçam as fibras e as unem. Nesse caso, os jatos de água substituem as agulhas e produzem um efeito de consolidação similar. O processo é usado para produzir TNTs de alta resistência para aplicações de filtragem e geotêxteis.
Ultrassom	Este processo utiliza ondas de ultrassom para aquecer e fundir as fibras, unindo-as entre si. É uma técnica bastante utilizada na produção de TNTs com baixa gramatura e alto desempenho, como em aplicações médicas e de higiene.

Fonte: Adaptado de Hutten (2007).

2.1.5 Acabamentos Especiais

Os acabamentos especiais em TNTs possuem um conjunto de processos adicionais que podem ser aplicados para melhorar suas propriedades e características, como resistência, textura, aparência, entre outros. No Quadro 3 pode-se notar os diversos tipos de acabamentos especiais para TNTs (WILKS, 2001).

Quadro 3. Acabamentos Especiais para TNTs.

TÉCNICA	RESUMO
Laminação	Nessa técnica, um filme polimérico é adicionado ao TNT para melhorar suas propriedades de barreira, como a impermeabilidade ou a resistência a gases. Isso pode ser usado em produtos como fraldas descartáveis, isolante térmico, roupas de proteção e embalagens.
Revestimento	Processo em que uma camada de um material específico é aplicada à superfície do TNT para melhorar suas propriedades, como a resistência mecânica, à abrasão ou a produtos químicos. Esses TNTs podem ser aplicados como materiais de construção, roupas de proteção, bloqueadores de luz e som.
Hidrofóbico ou higroscópico	Acabamento que torna o TNT resistente à água ou mais absorvente. Isso pode ser feito por meio de tratamentos químicos ou físicos que modificam a superfície do TNT, tornando-o repelente a água ou um absorvente capaz de capturar e reter a umidade do ar. Esses TNTs podem ser usados em roupas de proteção, materiais de limpeza descartáveis, filtros e embalagens.
Antimicrobiano	Aditivos aplicados ao TNT para prevenir o crescimento de microrganismos durante o uso do TNT, tais como bactérias, ácaros e fungos. Esse acabamento pode ser útil para TNTs com aplicação médica, embalagens, entretelas para tecidos de revestimento de móveis e estofados e roupas de proteção.
Antiestático	Aditivos aplicados ao TNT para prevenir a acumulação de cargas elétricas que são facilmente formadas em TNTs compostos de fibras sintéticas como PET e PP e expostos a ações mecânicas de atrito e abrasão. Esses materiais podem ser úteis no uso como entretelas, roupas de proteção de uso médico e filtros.
Ignífugo	É um acabamento que torna o TNT resistente ou retardante a queima. Esse tratamento pode ser feito por meio da aplicação de aditivos químicos na manta de fibras ou presentes no próprio filamento que modificam as propriedades do TNT tornando-o menos inflamável. Esses acabamentos são úteis em TNTs com aplicação em roupas de proteção, geotêxteis, filtros industriais, revestimento e enchimento de móveis e estofados, materiais de construção civil e arquitetura.
Estamparia	É um processo em que um padrão é aplicado à superfície do TNT. Isso pode ser feito por meio de técnicas como a serigrafia, a impressão digital ou a transferência térmica. Pode ser usado para fins decorativos ou para identificar produtos, como em roupas de proteção que precisam ser facilmente reconhecidas.
Perfuração	Nesse processo o TNT é perfurado em padrões específicos para melhorar sua permeabilidade ou respirabilidade. Esse acabamento físico pode ser usado em produtos como filtros e materiais de embalagem.

Fonte: Adaptado de Wilks (2001).

De forma resumida, os acabamentos especiais de TNTs podem melhorar significativamente as propriedades e características desses materiais, tornando-os mais versáteis e adaptáveis às necessidades de diversas aplicações. Além disso, esses acabamentos podem ser aplicados durante a formação da manta, durante a consolidação ou ainda no próprio TNT formado, dependendo do tipo de acabamento, do processo e dos materiais utilizados.

2.2 Acústica

A acústica é a ciência que estuda as propriedades físicas do som e como ele se propaga através de meios materiais, bem como as maneiras pelas quais o som é produzido, transmitido, recebido e percebido pelos seres humanos (SANTOS, 2009). A acústica é uma área interdisciplinar que abrange aspectos da física, matemática, arquitetura, engenharia, psicologia, biologia, entre outras (DUNN et al., 2015). A propagação do som é governada pelas leis da física, dentre estas: a lei da reflexão, refração, difração, transmissão e interferência (DUNN et al., 2015).

A acústica também estuda a relação entre a energia sonora e o ambiente em que ela se propaga, incluindo o efeito de materiais absorventes e refletores (HABAULT; FILIPPI, 1999). A produção do som envolve a conversão de energia de uma fonte, como uma corda vibrante ou uma membrana, em ondas sonoras que se propagam através de um meio material (MORAVCSIK, 2001). A acústica também estuda a amplificação do som, que é essencial em sistemas de som e música (GALLAGHER, 2009). O desenvolvimento da acústica de salas fechadas está diretamente relacionado ao desenvolvimento cultural de uma determinada região (SANTOS, 2009).

A presente introdução histórica enfoca o desenvolvimento da acústica no mundo ocidental, período em que mais materiais relacionados à acústica podem ser encontrados na literatura.

2.2.2 Contexto histórico

Na análise de culturas antigas, a necessidade de se dirigir a um público mais amplo, seja por motivos políticos ou militares, levou a construção arquitetônica à disposição de auditórios concêntricos para que o público ficasse mais próximo do orador. Os ouvintes foram intuitivamente divididos em torno de um palco com um alto-falante, respeitando assim a direção natural do som (LONG, 2005). A transição do informal para o formal deu origem aos anfiteatros. Com o passar dos anos, a trajetória da acústica arquitetônica pode ser descrita, de forma resumida, conforme o Quadro 4.

Quadro 4 Breve Histórico da Acústica Arquitetônica Ocidental.

DATA	PERÍODO	INOVAÇÃO	MARCOS IMPORTANTES	RESUMO
------	---------	----------	--------------------	--------

330 a.C	Interbíblico	Construção dos primeiros auditórios e anfiteatros.	Foram construídos os primeiros auditórios pelos Gregos, isso se deu pela influência da cultura democrática da época. Baixo ruído e treinamento dos palestrantes. Descoberta intuitiva de um certo tratamento acústico.	Os auditórios eram construídos em ambientes abertos e em morros, de forma que os palestrantes ficavam na parte mais alta e os ouvintes na parte baixa. A partir disso, os Romanos otimizaram os anfiteatros adicionando os bastidores, elevaram o palco, criaram os patronos (zonas cobertas), extinguiram a necessidade de construir em morros e passaram a utilizar esses locais para entretenimento. Embora não soubesse o porquê da solução que propunha. Vitruvius (arquiteto romano) passou a utilizar vasos de barro como absorvedor e difusor sonoro.
400-800 d.C.	Era Cristã	Construção de igrejas (Basílicas) e a transmissão da mensagem falada ou cantada (canto Gregoriano).	Promulgação do cristianismo como religião oficial do Império Romano.	A religião teve grande impacto na cultura da época, já que à medida que os anos avançavam era a igreja católica quem ditava o modo de vida das pessoas. A construção de igrejas dominou a arquitetura da época e a transmissão da mensagem falada ou cantada foram os focos principais.
800-1100 d.C.	Romanesco	Não houve nenhuma inovação aparente.	Pós queda do Império Romano. Simplificação da arquitetura interna e externa.	Após a queda do Império Romano em 476 d.C. e durante a Idade Média desenvolveu-se na arquitetura de grande parte da Europa o que se denominou por período Românico. Dentre os inúmeros fatores e circunstâncias históricas que influenciaram as características estruturais e estéticas dessa arquitetura específica, pode-se destacar invasões, perseguições, guerras, incêndios e escassez de recursos. Nesse período, portanto, as igrejas foram construídas com materiais mais simples,

				como: tijolos, pedras e restos de outras obras destruídas. Além disso, sua forma interna e externa tornou-se mais concisa.
1100-1400 d.C.	Gótico	Construção das catedrais góticas. Mudança de cenário musical, teatral e acústico.	Evolução do canto gregoriano a uma forma polifônica. Reforma protestante. Enriquecimento de algumas cidades.	Foi quando as cruzadas renderam seus recursos. O enriquecimento de algumas cidades também levou ao desenvolvimento das artes sem foco na religião, e sim como forma de entretenimento – Renascentista. Tanto a igreja católica quanto a protestante contribuíram para a mudança do cenário musical, teatral e acústico.
1600-1750 d.C.	Barroco	Criação de violinos e órgão de tubos. Surgimento do canto lírico. Evolução do palco, com a inserção de locais que permitiam o armazenamento de outros cenários para mudanças ao longo das peças.	Evolução dos instrumentos musicais, do estudo de harmonia e afinação.	Tem-se um estilo mais rápido, virtuoso e instrumental. Com a criação dos violinos excepcionais, o processo de afinação aperfeiçoada e instrumentos complexos com o órgão de tubos ganharam popularidade. A construção de teatros segue ainda com mudanças com o surgimento da Ópera e a evolução das peças teatrais.
1750-1825 d.C.	Clássico	Desenvolvimento do conhecimento teórico da acústica e vibrações.	Trabalho da acústica de salas altamente empírico. Desenvolvimento da física e estudo da acústica empírica.	A partir dos períodos renascentista, barroco, iluminismo e até o fim do século XIX, as bases teóricas para o desenvolvimento da acústica e vibrações aconteceram. Além disso, o trabalho em acústica de salas, por exemplo, era altamente empírico e baseados nas leis da óptica. Muitos cientistas contribuíram com o desenvolvimento da física e conseqüentemente com o estudo da acústica empírica, como por exemplo, Fourier; Galileo; Euler; Laplace; Germain;

				Newton; Lagrange; Rayleigh.
1825-1900 d.C.	Romantismo	Mudanças incrementais nas salas de concerto. Descoberta de sala em formato de caixa de sapato	Conhecimento ainda empírico e não quantitativo. Período de “trevas” acústicas. Existiu um arquiteto que disse: “Eu me obriguei a passar por dores a fim de dominar essa ciência bizarra que é a acústica. Mas em nenhum lugar encontrei uma regra para me guiar. Ao contrário, não encontrei nada além de afirmações contraditórias. Devo explicar que eu não adotei nenhum princípio, que meus planos não se basearam em uma teoria, é que deixo o sucesso ou a falha à sorte somente” (Architectural Acoustic, Long, M. 25, em tradução livre de Jean Louis Charles Garnier, 1880).	Curiosamente, salas bastante famosas foram construídas nesta época de “trevas” acústicas. A maioria tem formato de caixa de sapato: estreitas, com relação Volume/Número de ocupantes baixa, além de muita ornamentação (efeito de difusão) e superfícies refletoras T60 ≈ 2 [s].
Século XIX	Modernismo	Surgimento das obras: “Sensations of Tone” “Theory of Sound”	Surgimento de duas obras importantes	Numa época em que a melhor fonte sonora era um apito e o melhor microfone era um tubo de gás, houve o surgimento de duas obras importantes, sendo elas: “Sensations of Tone – que diz respeito a como ouvimos” e “Theory of Sound – sobre a física acústica”.
Século XX	Era dos Extremos	Evolução dos computadores. Maior entendimento da audição humana. Criação de novos parâmetros acústicos.	Redução dos custos. Evolução considerável dos materiais acústicos.	Com a evolução dos computadores, pode-se obter maior precisão na hora de projetar, além de uma redução de custos. A ciência e tecnologia continuaram a evoluir e a criação das sociedades

acústicas e revistas levou à popularização da ciência. Além disso, houve maior entendimento da audição humana e também da criação de novos parâmetros acústicos objetivos usados para guiar um projeto de um ponto de vista subjetivo. Isso levou a uma tendência a esculpir as curvas de decaimento do som nas salas e a novos conceitos acústico-arquitetônicos.

Fonte: Adaptado de Long (2005)

O padrão de sala retangular (formato caixa de sapato) é bastante utilizado nos dias de hoje e os materiais têxteis, especificamente os TNTs, surgem como uma proposta para melhorar a qualidade acústicas dos ambientes espaciais.

2.2.3 Princípio da Acústica

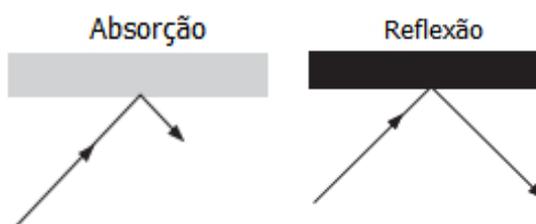
Quando o tema “som” é abordado, costuma-se fazer referência a uma variedade de experiências auditivas, podendo essas serem prazerosas ou desagradáveis para nós. Cada indivíduo reage de maneira única aos sons que escuta. Entretanto, é importante notar que a ausência de som pode ser tão perturbador quanto a presença excessiva de ruídos (SANTOS, 2009). A percepção das características espaciais como forma, proporção, escala, textura, luz e som, está intrinsecamente ligada às propriedades que definem o espaço, ou seja, nossa compreensão dessas características é frequentemente moldada pela interação do conjunto dessas propriedades (CHING, 2023).

A propagação e percepção do som, a princípio, estão relacionadas as vibrações ou oscilações mecânicas. A vibração das cordas de um violão, por exemplo, pode ser vista a olho nu. Antigamente, dizia-se que o som era tudo aquilo que pudesse ser sentido, ou seja, toda vibração sonora podia ser sentida com o toque. Nos dias de hoje, sabe-se que nem sempre é possível vê-las ou senti-las, devido as vibrações serem muito fracas. Neste caso, só poderão ser observadas por meio de dispositivos de medição (KUTTRUFF, 2007). O recebimento e a percepção do som são estudados pela psicoacústica, que se concentra nas maneiras pelas quais o ouvido humano e o

cérebro processam e interpretam o som (ZIMMERMANN; TIMELL, 1983). Isso inclui o estudo de como o som é codificado no nervo auditivo e como diferentes frequências e níveis de intensidade são percebidos pelo cérebro humano.

Um bom projeto acústico depende de uma combinação adequada de superfícies absorptivas, reflexivas e difusivas. Utilizando materiais adequados para tratar de ondas de frequência baixa, média e alta (COX; D'ANTONIO, 2009). O efeito de absorção de uma onda sonora por um determinado material é de receber a onda e devolvê-la com menor intensidade, já o efeito de reflexão de uma onda sonora é de recebê-la e devolvê-la com a mesma intensidade, como pode ser observado na Figura 3.

Figura 3 Efeito da Absorção e Reflexão.



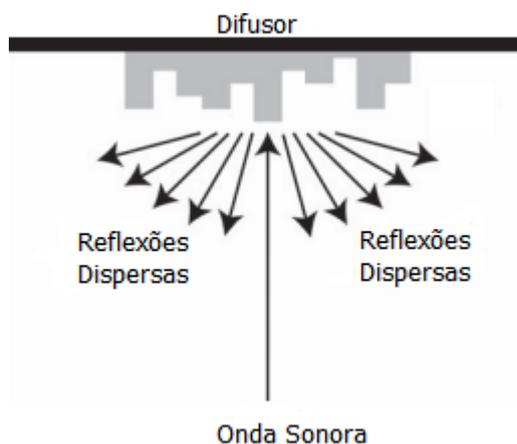
Fonte: Adaptado de Cox e D'antonio (2009, p. 2)

Em acústica, a difusão é um processo que tem como intenção “quebrar” uma reflexão única em parcelas menores (FUCHS, 2015). Na Figura 4, pode-se notar a função de um difusor acústico, que seria dispersar uma onda sonora em diversas parcelas de ondas menores em diversas direções, contribuindo com a melhor distribuição do som e reduzindo problemas de interferência (GALLAGHER, 2009).

Uma onda sonora é uma perturbação mecânica que se propaga através de um meio material, como o ar, a água ou materiais sólidos. Ela é formada pela compressão e rarefação das partículas do meio, resultando em variações de pressão que se propagam em forma de ondas. Essas variações de pressão são interpretadas pelo nosso sistema auditivo como som (TEMPLETON; SAUNDERS, 2014).

A velocidade com que uma onda viaja através de um meio é uma característica do meio e do tipo de onda (MORAVCSIK, 2001). A velocidade do som depende da temperatura e do meio pelo qual ela se propaga (ar, água, material sólido) (EVEREST, 2001).

Figura 4 Efeito de Difusão.



Fonte: Adaptado de Gallagher (2009, p. 52).

Quando uma onda sonora encontra uma superfície, ela interage com ela de várias maneiras. Essas interações podem ser descritas por quatro grandezas acústicas que estão relacionadas entre si: impedância, admitância, coeficiente de reflexão da pressão e coeficiente de absorção (COX; D'ANTONIO, 2009).

A impedância acústica é uma medida da resistência que uma superfície oferece à passagem da onda sonora. Ela leva em consideração a densidade do meio em que a onda se propaga e a velocidade de propagação (KUTTRUFF, 2007). A admitância, por sua vez, é o inverso da impedância e fornece informações sobre a facilidade com que a onda pode atravessar a superfície (BRUNEAU, 2013).

O coeficiente de reflexão da pressão indica a proporção de energia da onda sonora que é refletida pela superfície. Ele nos diz qual é a magnitude e a mudança de fase na reflexão da onda sonora (LEFEBVRE, 1998). Se o coeficiente de reflexão for alto, significa que uma quantidade significativa de energia está sendo refletida.

Por fim, o coeficiente de absorção mede a capacidade da superfície de absorver a energia da onda sonora. Ele fornece informações sobre a mudança na intensidade da onda durante a reflexão, mas não leva em conta informações de fase (PENICK, 2000).

Na acústica, é comum expressar a pressão sonora em unidades de decibéis, no qual é referida à quantidade resultante do nível de pressão sonora. A forma como ouvimos os sons está ligada ao comprimento da onda, ou seja, à quantidade de vibrações por segundo, que chamamos de frequência. É sabido que o som audível normal varia em uma faixa que vai aproximadamente de 16 Hz a 20.000 Hz (KUTTRUFF, 2007). Porém, para seres humanos, esse intervalo deve ser considerado

de 20 Hz a 120 Hz (HARIPRASAD et al., 2020). Em que “Hz” é a unidade de frequência, conhecida como Hertz.

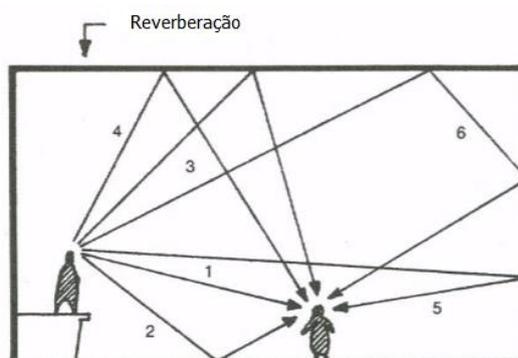
A acústica é uma área importante em muitas aplicações práticas, incluindo design acústico de salas de concertos, teatros e estúdios de gravação, redução de ruído em aeronaves e automóveis, e projeto de sistemas de som para casas e espaços públicos. A acústica também é importante para a segurança em locais de trabalho ruidosos e para a saúde auditiva em geral.

O tempo de reverberação (TR) é a medida do tempo necessário para que um som em uma sala diminua em 60 dB, representando a transição de um som muito alto até o momento em que não seja mais possível ouvi-lo (EVEREST, 2001). Foi introduzido por W. C. Sabine, que o mediu usando um órgão portátil, tubos sonoros, um cronômetro e seus ouvidos. Embora as medições modernas sejam mais precisas, continuamos a usar e a aprimorar o conceito original de Sabine (SANTOS, 2009). Pode-se observar na Figura 5 o efeito de reverberação dentro de um ambiente fechado.

Em resumo, a acústica é uma ciência fundamental que ajuda a entender como o som é produzido, transmitido e percebido pelos seres humanos e como podemos manipulá-lo para criar ambientes sonoros melhores e mais seguros.

Para a engenharia têxtil, a acústica é considerada uma área de pesquisa e desenvolvimento, como por exemplo, materiais para o design de espaços acusticamente confortáveis, materiais absorvedores de som e materiais para isolamento acústico. Sabe-se que a qualidade acústica de um espaço pode ser afetada por diversos fatores, como a geometria da sala, a natureza dos materiais de construção e a presença de fontes sonoras. A acústica arquitetônica envolve o estudo desses fatores e a aplicação de técnicas para melhorar a qualidade de propagação do som em um espaço (CHING, 2023).

Figura 5 . Efeito de reverberação em ambientes fechados.



Fonte: Adaptado de Santos (2009)

Os materiais absorvedores de som são usados em ambientes como salas de música, estúdios de gravação, teatros, cinemas, entre outros, para reduzir o nível de ruído e melhorar a qualidade do som (COX; D'ANTONIO, 2009). A estrutura desses materiais permite que as ondas sonoras sejam absorvidas e dissipadas, reduzindo a reverberação do som e melhorando a qualidade acústica do ambiente.

2.2.4 Controle de Ruído

Quando tratamos de ruído, lembramos de todo e qualquer tipo de som indesejado, irritante ou prejudicial. Que causa desconforto e pode ter efeitos negativos adversos a saúde, bem-estar e qualidade de vida das pessoas. O controle de ruído depende de um conjunto de medidas e técnicas utilizadas para reduzir ou mitigar efeitos indesejados do ruído em diferentes ambientes (AHNERT; STEFFEN, 1999).

A exposição contínua a níveis elevados de ruído pode levar a uma série de problemas de saúde, incluindo perda auditiva, estresse, distúrbio do sono, problemas de concentração, entre outros (BARRON, 2002). Portanto, o controle de ruído é essencial para garantir ambientes seguros, saudáveis e confortáveis.

Como dito anteriormente, o controle do excesso de ruído pode ser resolvido através da aplicação adequada de materiais isolantes e absorvedores acústicos (MÖSER, 2009).

Existem alguns regulamentos disponíveis para o gerenciamento de ruído residencial e para restringir o gerenciamento de ruído de tráfego na estrada/rodovia. Instruções e regulamentos de saúde e segurança ocupacional também estão

disponíveis para proteger os trabalhadores do ruído industrial (CHEREMISINOFF, 1996).

É importante destacar que este parâmetro deve ser abordado de forma holística, considerando aspectos técnicos, regulatórios e de saúde e segurança ocupacional. As normas e regulamentos específicos variam de acordo com o país e a indústria, e é fundamental estar atualizado sobre as regulamentações locais aplicáveis.

2.2.4.1 Normas vigentes de segurança

- NBR 10152. Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações.
 - A Norma Brasileira da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) estabelece os procedimentos técnicos a serem seguidos ao medir os níveis de pressão sonora em espaços internos de edifícios. Além disso, ela define os valores de referência para avaliar os resultados de acordo com o propósito de uso do ambiente (ABNT, 2017).
- NR 15 – Atividades e Operações Insalubres.
 - É a norma regulamentadora de segurança do trabalho. Ela impõe os limites permitidos para ruído contínuo ou intermitente (MTE, 1978). O nível de ruído é dado em decibéis e é relacionado a máxima exposição diária permissível, dada em horas.

2.2.5 Importância do controle acústico na vida cotidiana

A acústica é uma ciência que estuda o som e sua propagação no ambiente. Ela é de extrema importância na vida cotidiana, pois afeta diretamente o bem-estar e a saúde das pessoas, além de ser essencial em diversas áreas, tais como engenharia, arquitetura, música, medicina e psicologia.

Um dos pontos mais importantes da acústica na vida cotidiana é a proteção auditiva. A exposição constante a ruídos excessivos pode causar perda auditiva permanente. Por isso, o conhecimento de acústica é essencial para a concepção de dispositivos de proteção auditiva, como protetores auriculares e abafadores de ruído. Além disso, a acústica é importante para a definição de limites de ruído em diferentes

ambientes, como hospitais, escolas e residências, a fim de garantir a segurança auditiva das pessoas.

Outra importância da acústica na vida cotidiana é o conforto acústico. A acústica é fundamental para garantir o conforto acústico em ambientes fechados, como escritórios, escolas, teatros, igrejas e residências. A aplicação de materiais isolantes e absorvedores acústicos, como forros, revestimentos e painéis, pode reduzir a reverberação do som e minimizar os níveis de ruído internos e externos. Isso contribui para o bem-estar das pessoas e para a produtividade em ambientes de trabalho (MARCATO; KRAMBEK; MORENO, 2021).

A acústica também é imprescindível para a melhor eficiência na comunicação. Ela é fundamental para a transmissão e compreensão da voz humana em diferentes ambientes com nitidez. No segmento musical, o conhecimento de acústica é essencial para a reprodução de sons com qualidade. A acústica é fundamental para a construção de instrumentos musicais, como violões, pianos e violinos, e para a concepção de espaços acústicos, como salas de concertos e estúdios de gravação. A compreensão da acústica permite que a música seja produzida, gravada e reproduzida com fidelidade e clareza, contribuindo para a apreciação genuína da arte e para a indústria fonográfica (NÉSPOLI, 2006).

Por fim, a acústica é importante para a saúde mental das pessoas. A exposição constante a ruídos excessivos pode causar estresse, ansiedade e outros problemas de saúde mental. É discutido hoje em dia sobre o uso de técnicas de acústica ambiental e como ela pode ajudar a promover a tranquilidade e o bem-estar de indivíduos em diferentes ambientes. Além disso, o estudo da acústica é importante para a medicina, pois permite a realização de exames diagnósticos, como a audiometria e a ultrassonografia, e para a psicologia, pois estudos indicam que ambientes sonoros adequados contribuem para a recuperação de pacientes (FERNANDES; SANTOS; CARVALHO, 2011).

O presente trabalho busca explorar a relevância dos TNT aplicados na área da acústica, sua importância na sociedade atual e seus desafios para a criação de ambientes acusticamente saudáveis, e além disso, partindo também para medidas mais ecológicas.

2.2.5.1 Edificações

A exposição a ruídos indesejados pode levar à interrupção da capacidade auditiva e à ocorrência de problemas de audição. Por essa razão, várias autoridades estabeleceram níveis de tolerância de ruído com base em sua intensidade, tempo, lugar e duração (BENOCCI et al., 2020).

O uso de materiais acústicos na construção civil e em edifícios é extremamente importante para evitar sons indesejados originados de várias fontes, como veículos, máquinas, aeronaves ou até mesmo correntes de vento (PENG et al., 2023), que podem ser perturbadores, intoleráveis e perigosos. Nesse contexto, existem estudos relevantes sobre a aplicabilidade de materiais não tecidos agulhados de fibras naturais e sintéticas em construção civil, apontando grande potencial (BOOMINATHAN et al., 2022).

Como dito anteriormente, tratamentos acústicos são amplamente utilizados na construção civil para controlar a propagação de ruídos indesejados em vários tipos de edifícios. Esses tratamentos são particularmente importantes em locais como prédios educacionais, como escolas e universidades, centros de aprendizagem, áreas comuns, auditórios, salas de palestras e teatros, onde a acústica adequada é essencial para uma experiência de aprendizado ou entretenimento satisfatória (ROCCA et al., 2022).

Em ambientes residenciais, como salas de home-theater ou casas próximas a fontes de ruído externas, como fábricas, rodovias e aeroportos, os tratamentos acústicos são essenciais para controlar o nível de ruído interno e externo. Isso é especialmente importante para evitar perturbações para os vizinhos (BENOCCI et al., 2020).

Uma das principais finalidades dos tratamentos acústicos em áreas como essas é absorver os ruídos indesejados que ecoam dentro do espaço e confinar o som dentro da sala, evitando perturbações aos vizinhos. Outra finalidade importante é restringir a entrada de ruído indesejado na sala, a fim de evitar perturbações no ambiente interno (KARIMI et al., 2022). Em suma, os tratamentos acústicos são necessários para garantir que o som seja controlado dentro de um espaço designado, proporcionando um ambiente mais agradável e saudável para seus ocupantes.

No século XIX, os regulamentos de construção estavam principalmente concentrados na estabilidade estrutural e proteção contra incêndio. Entretanto, no

século XXI, os regulamentos de construção começaram a perceber a importância da insonorização e isolamento (RINDEL, 2017).

Atualmente, a maioria das Autoridades de Proteção Ambiental (EPA) em todo o mundo têm regulamentos para o ruído residencial, como o ruído originado de veículos, cortadores de grama, ferramentas elétricas, aquecimento/resfriamento doméstico e sistemas de rádio ou som. Um nível de som acima de 53 dB é considerado "ruidoso" e moradores que moram perto de aeroportos podem estar expostos a altos níveis de ruído (PENG et al., 2023). Além disso, música alta e sistemas de som podem gerar ruído intenso dentro do próprio ambiente doméstico.

Por isso, tratamentos acústicos são necessários para isolar e controlar ruídos excessivos e indesejados. Enfatizar as ações de atenuação de ruído no nível do projeto é uma boa preparação para restringir a quantidade de ruído que entra em uma residência de propriedades vizinhas, ruas ou aviões, minimizando o custo de construção. Paredes e pisos grossos podem ajudar a restringir o movimento do ruído e refletir ou absorver energia sonora excessiva.

2.2.5.2 Estúdios de Gravação

A qualidade do som é um dos principais fatores que determinam o sucesso de uma gravação. Para obter um som limpo, claro e equilibrado, é essencial que o ambiente de gravação seja cuidadosamente projetado e equipado com materiais acústicos adequados.

Ao longo dos anos, foram desenvolvidas diversas tecnologias e tendências em materiais acústicos para otimizar o ambiente sonoro em estúdios de gravação. Esses materiais são projetados para controlar a reflexão, a absorção e a difusão do som, garantindo que o som seja captado de maneira uniforme em toda a sala e minimizando o impacto de ecos, reflexos indesejados e outras interferências sonoras (RODRIGUES; MAGALHÃES, 2019).

O parâmetro mais importante que descreve a acústica da sala é o tempo de reverberação (PADHYE; NAYAK, 2016) Tanto o nível de compreensão quanto a distribuição do som dependem do tempo de reverberação (TR). A acústica arquitetônica é lida com o projeto para obter um bom controle de som em um edifício, como uma sala de concertos, teatro e restaurante. Isso também pode incluir a melhoria da qualidade do som em um estúdio de gravação ou sala de concertos.

O uso de materiais não tecidos também podem ser aplicados para melhorar o desempenho acústico de estúdios de gravação. Não tecidos agulhados a partir de fibras sintéticas (lã de PET, PU, e etc.) ou naturais (fibra de banana, cânhamo, sisal e etc) tem sido estudado para esse tipo de aplicação como revestimento de parede, teto, piso ou carpetes (BOOMINATHAN et al., 2022).

2.2.5.3 Salas de Concerto

Uma sala de concertos também pode ser considerada um grande instrumento musical, a forma e o material de que é composto determinará em grande medida o que será ouvido dali. Projetar ou construir instrumentos musicais não é, portanto, uma disciplina técnica ou científica, mas uma espécie de ofício, ou uma "arte" no sentido clássico da palavra (KUTTRUFF, 2012).

As superfícies nas salas de concerto são projetadas para refletir o som de forma adequada, permitindo que ele se propague de maneira direcional e coerente. Paredes, tetos e pisos geralmente possuem superfícies rígidas e sólidas para ajudar na reflexão sonora (MAIO, 2011). Para evitar que o som seja refletido diretamente em uma única direção, é importante incorporar elementos que promovam a difusão sonora. Painéis difusores são usados nas paredes para dispersas as ondas sonoras, reduzindo assim a formação de ecos e proporcionando uma experiência sonora mais agradável (TAKAHASHI; BERTOLI, 2012).

Embora a reflexão e a difusão sejam fatores importantes, o excesso de reverberação pode prejudicar a qualidade do som. Para controlar a reverberação excessiva, é necessário incorporar materiais de absorção sonora nas superfícies. Isso pode ser alcançado por meio do uso de painéis acústicos, cortinas, carpetes e assentos acusticamente projetados.

O projeto da sala de concertos também é crucial para obter uma acústica adequada. A forma, tamanho e geometria da sala são considerados para criar um ambiente sonoro favorável. Salas com formato retangular são comumente utilizadas, pois ajudam a direcionar e distribuir o som de maneira uniforme (FIGUEIREDO, 2005). Ademais, devem ser projetadas para minimizar a entrada de ruído externo indesejado. Isso envolve a utilização de materiais isolantes acústicos nas paredes e janelas, garantindo que os sons externos, como tráfego de veículos ou ruídos urbanos sejam reduzidos ao mínimo.

A posteriori, é importante realizar ajustes finos e calibrações para garantir que a acústica da sala seja ideal. Isso pode envolver a medição e análise do TR, a posição e configuração dos painéis acústicos, e a equalização do sistema de som para fornecer uma resposta de frequência equilibrada em todos os assentos.

Deve-se considerar também que cada sala de concerto é única, isso significa que o tratamento acústico irá variar de acordo com a finalidade da sala, o estilo musical predominante e a estética desejada (ROSSING, 2014). Para isso, é necessário contratar engenheiros especializados em acústica para projetar e implementar soluções de tratamento acústico personalizadas, a fim de atender às necessidades específicas de cada sala.

2.2.5.4 Igrejas

A palavra falada é um elemento essencial nos serviços religiosos, uma acústica adequada garante que a mensagem seja transmitida com clareza e entendimento (DOMENIGHINI; BELLONI; BURATTI, 2023). Além disso, a música litúrgica desempenha papel vital nas igrejas, sendo esse também um fator trivial a necessidade de uma acústica favorável, que possa realçar a qualidade sonora dos instrumentos e dos coros, criando uma experiência musical mais envolvente. Para que esses objetivos sejam alcançados, a reverberação do som deve ser adequada, de forma que evoque uma sensação de reverência e majestuosidade, adicionando assim, uma dimensão emocional à experiência religiosa.

A definição do TR desejado depende do tipo de espaço e das atividades realizadas nele. Igrejas menores geralmente requerem um tempo de reverberação curto para garantir a inteligibilidade, enquanto igrejas maiores podem se beneficiar de um TR mais longo para criar uma atmosfera solene (CAIROLI, 2020). A utilização de materiais absorventes acusticamente eficientes, como painéis, revestimentos e carpetes, ajuda a controlar a reverberação excessiva e minimizar reflexões indesejadas (SILVA, 2008).

A forma e as dimensões dos espaços também são fatores importantes a serem considerados devem ser projetadas de maneira a melhorar a acústica, como sabemos, as igrejas possuem uma arquitetura complexa, devido à sua tradição histórica e religiosa (TIMAGENIS; TIMAGENIS; TIMAGENIS, 2022).

Elementos como teto em cúpula, arcos, balcões e púlpitos podem ajudar a direcionar o som e melhorar a distribuição sonora (ALBERDI et al., 2021). Em algumas

situações, pode ser necessário o uso de sistemas de amplificação sonora para garantir uma boa inteligibilidade, especialmente em igrejas de grandes dimensões ou com problemas acústicos intrínsecos.

2.2.5.5 Indústria

A poluição sonora é uma preocupação crescente nas indústrias devido aos impactos negativos que pode ter tanto na saúde dos trabalhadores quanto no desempenho produtivo das empresas. Neste contexto, o tratamento acústico surge como uma solução eficaz para reduzir a exposição ao ruído e minimizar os efeitos prejudiciais associados. Para realizar o tratamento adequado, deve-se adotar um conjunto de técnicas e medida para controlar e reduzir os níveis de ruído.

Existem algumas práticas a serem adotadas nas indústrias. O isolamento acústico consiste em impedir a propagação do som entre diferentes áreas, podendo ser alcançado com a utilização de materiais isolantes, como painéis, mantas e barreiras acústicas. Em ambientes industriais, as espumas acústicas podem ser usadas para controlar o ruído gerado por máquinas e equipamentos. Elas podem ser instaladas nas paredes ou tetos dessas áreas, absorvendo o som e reduzindo sua propagação (RODRIGUES, 2018).

Outra prática importante é a absorção sonora, a partir da utilização de materiais absorventes, como espumas, painéis perfurados, lã de vidro acoplados em paredes, tetos e pisos, ajudando a reduzir a reflexão do som e a absorver as ondas sonoras, diminuindo assim a reverberação e os níveis de ruído no ambiente (GANIME et al., 2010). As espumas de borracha natural podem ser aplicadas no interior de dutos e tubulações para minimizar a propagação do som através desses sistemas, reduzindo o ruído transferido para outros espaços (SALMAZO et al., 2004).

Muitos equipamentos industriais geram ruídos durante seu funcionamento. O isolamento acústico desses equipamentos é importante para reduzir a propagação do som. Para o alcance desse feito, é comumente utilizada mantas acústicas de não tecido, revestimentos especiais ou gabinetes isolantes para envolver as fontes ruidosas (PINTO, 2022).

Além da inserção de materiais acústicos, é imprescindível que seja feita a manutenção regular dos equipamentos industriais, sendo uma medida essencial para evitar ruídos excessivos decorrentes de peças desgastadas, soltas ou mal ajustadas. A lubrificação adequada e a substituição de peças defeituosas também podem ajudar.

Em alguns casos, quando não é possível eliminar completamente o ruído, é importante limitar o tempo de exposição dos trabalhadores a níveis elevados de ruído (MARTÍNEZ et al., 2012). Isso pode ser feito por meio de rodízio de funções, realizando pausas regulares ou usando equipamentos de proteção individual (EPI), como protetores auriculares.

É recomendado considerar aspectos acústicos desde o projeto inicial das instalações industriais, buscando o layout adequado, a localização estratégica de áreas ruidosas, a utilização de materiais e técnicas de construção adequadas podem ajudar a minimizar os problemas de ruído no ambiente industrial (CORDEIRO et al., 2005). É importante ressaltar também que o tratamento acústico deve estar em conformidade com as normas e regulamentações locais de saúde e de segurança do trabalho, que estabelecem limites de exposição ao ruído e requisitos específicos para a proteção dos trabalhadores. Após a tomada das medidas necessárias, deve-se realizar avaliações periódicas do ambiente acústico para garantir a eficácia e assim identificar possíveis novas formas de melhoria.

2.2.5.6 Interior de Automóvel

O controle de ruído do veículo é fundamental para os fabricantes se tornarem competitivos no mercado e para que possam, também, agregar valor no automóvel. A principal forma de alcançar esse objetivo é utilizando materiais de amortecimento de som para acoplar a componentes como painéis dianteiros, painéis de porta, revestimentos de piso, painéis de instrumentos e revestimentos de porta-malas do veículo (FERNANDES; BAJOUCO, 2022). Além disso, os fabricantes de veículos tentam reduzir o ruído externo do escapamento, motor e pneus. Esta também é uma área complicada, pois há restrições de espessura do equipamento usado.

Existe ainda a possibilidade do tipo do veículo, velocidade e condições de condução alterar a quantidade de ruído (PADHYE; NAYAK, 2016). O controle de ruído pode ser efetivamente aumentado quando combinado com o uso de silenciadores, telas, defletores e amortecedores. Um bom entendimento é essencial para obter um controle de ruído eficaz em um veículo que usa dispositivos de ignição e materiais de espessura reduzida.

2.2.5.7 Sala de Aula

Nas salas de aula, tanto as pessoas presentes quanto a ventilação proporcionada pelas janelas e portas abertas têm um impacto importante na forma como o som é absorvido. É crucial que haja uma reverberação curta nesses espaços para garantir uma compreensão adequada do que é dito (SANTOS, 2009).

Existem várias maneiras de melhorar a absorção sonora nesses ambientes, como utilizar materiais porosos no teto, colocar painéis vibratórios nas paredes, cortinas e a utilização de espumas de poliéster como revestimento de paredes (FUJIMOTO; BISTAFA; VIVEIROS, 2005).

Estudos apontam que a melhor qualidade acústica da sala pode refletir positivamente na aprendizagem dos estudantes. Para isso é essencial minimizar a entrada de ruídos externos, como tráfego de veículos, ruídos de construção ou atividades em outras salas adjacentes. Isso pode ser feito por meio de isolamento acústico nas paredes, janelas e portas, utilizando materiais que ajudam a bloquear o som (ALARCÃO; FAFAIOL; COELHO, 2008).

Para reduzir a reverberação e melhorar o entendimento da fala, é recomendado utilizar materiais absorventes sonoros nas superfícies internas da sala de aula. Isso inclui a instalação de painéis acústicos nas paredes e tetos, carpetes no chão e cortinas pesadas nas janelas, todos projetados para absorver as ondas sonoras e reduzir a reflexão excessiva.

O posicionamento do professor em relação aos alunos pode desempenhar um papel importante na transmissão clara da voz. É recomendado que o professor fique próximo à fonte de som direcionada aos alunos. Essa medida pode ajudar a minimizar a distância e o ruído de fundo, permitindo que sua voz seja ouvida com mais clareza. Além disso, o layout da sala e os objetos ali presentes também podem afetar a qualidade acústica. Deve-se organizar as carteiras de forma a permitir que o som se propague de maneira eficiente e que os estudantes possam se comunicar entre si sem dificuldades (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005).

O uso de mobiliário com propriedades de absorção acústica, como cadeiras estofadas ou materiais de absorção embutidos, também pode ajudar a reduzir a reflexão do som. Em salas de aula maiores ou com condições acústicas desafiadoras, pode ser necessário o uso de sistemas de amplificação sonora. Esses sistemas consistem em um microfone e alto-falantes estrategicamente posicionados na sala,

permitindo que a voz do professor seja amplificada e transmitida de forma clara para todos (RABELO et al., 2014).

Além das medidas físicas de tratamento acústicos, é importante promover a conscientização dos alunos e professores sobre a importância de um ambiente silencioso para a aprendizagem. Incentivar a disciplina em relação ao ruído excessivo, como evitar conversas paralelas durante as aulas, pode contribuir para um ambiente mais adequado para o ensino e a concentração. Esse cuidado com a qualidade sonora de ambientes estudantis visa favorecer o aprendizado, onde a comunicação e compreensão são facilitadas.

2.2.6 Materiais utilizados para o controle acústico

Existem diversos materiais que podem ser utilizados para o controle acústico de um ambiente. Tomando como exemplo estúdios de gravação, muitos materiais acústicos podem ser aplicados para melhorar a qualidade do som, que tem relação a se ter uma melhor experiência auditiva de forma subjetiva. Alguns exemplos incluem:

- **Espuma acústica:** a espuma acústica é um dos materiais mais comuns usados em estúdios de gravação. Ela é comumente feita de poliuretano e é projetada para absorver o som e reduzir o ruído externo. É possível encontrar espuma acústica em diferentes densidades e espessuras, o que permite adaptar o nível de absorção sonora de acordo com as necessidades do ambiente (MATEUS; PEREIRA; GODINHO, 2016);
- **Painéis acústicos:** os painéis acústicos são outra opção popular para controlar a acústica em estúdios de gravação. Eles podem ser feitos de diferentes materiais, como madeira, vidro e alumínio, e são projetados para refletir ou absorver o som, dependendo do tipo de material e da sua orientação (CARVALHO, 2019);
- **Difusores:** os difusores são projetados para espalhar o som em diferentes direções, criando uma sensação de amplitude e profundidade no ambiente. Eles podem ser feitos de materiais como madeira ou plástico, e apresentam uma textura irregular que reflete o som de maneira difusa (LIMA, 2021);
- **Carpete:** além dos materiais específicos para acústica, também é possível utilizar carpetes para melhorar o conforto acústico de um

ambiente. Esse material ajuda a absorver o som e reduzir a reverberação, criando um ambiente mais controlado e adequado para gravações e pode ser produzido com diversos tipos de materiais, tais como: poliéster, náilon, lã, entre outras (HENRIQUE; ZANNIN, 2012);

- **Materiais sustentáveis:** atualmente, existe uma tendência de utilizar materiais sustentáveis em estúdios de gravação, como painéis acústicos feitos de materiais reciclados. Esses materiais são projetados para oferecer um alto nível de absorção sonora e controle de eco, sem prejudicar o meio ambiente (ANDRADE, 2021).

Com relação aos materiais acústicos para edificações, existem diversas opções que podem ser utilizados para reduzir o ruído externo, melhorar a acústica interna, aumentar o conforto acústico dos espaços e que não está diretamente relacionado a apreciação de algum tipo de som artístico. Alguns exemplos de materiais acústicos para edificações são:

- **Lã mineral:** é um material fibroso que é utilizado para isolamento acústico em paredes e tetos. Ele é capaz de absorver o som e reduzir a reverberação, além de ser resistente ao fogo e ao calor (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006).
- **Vidro laminado acústico:** é uma opção para janelas e fachadas que oferece alta performance acústica. Ele é composto por duas ou mais camadas de vidro com uma camada intermediária de polivinil butiral (PVB) ou resina acústica, que reduz a transmissão de som (BENTO; FOIATO; CARELLI, 2021).
- **Painéis acústicos em madeira:** são utilizados para absorver o som em paredes e tetos, além de proporcionar um acabamento decorativo. Eles podem ser produzidos em diferentes espessuras e densidades, de acordo com as necessidades do projeto (PATRAQUIM; JORGE V, 2008).
- **Forros acústicos:** são utilizados para melhorar a acústica interna de um ambiente, reduzindo a reverberação e o eco. Eles podem ser feitos de materiais como gesso acartonado, metal ou madeira e podem apresentar diferentes texturas e acabamentos (LOSSO; VIVEIROS, 2004).

- **Portas acústicas:** são projetadas para bloquear a transmissão de som entre ambientes. Elas são compostas por uma estrutura reforçada e uma camada de material isolante, como lã mineral ou lã de vidro (LAMOUNIER, 2008).

2.2.6.1 Concreto

A utilização de concreto para fins acústicos é uma prática comum na indústria da construção civil, visando controlar e reduzir a propagação do som em ambientes internos e externos (FARIA, 2013). O concreto, devido às suas propriedades físicas e densidade, pode atuar como um eficiente isolante acústico, ajudando a minimizar a transmissão de ruídos indesejados entre diferentes espaços. Existem diferentes formas de utilizar o concreto para melhorar o desempenho acústico de edifícios, paredes, pisos e tetos.

O concreto é conhecido por sua alta densidade e massa. Quanto maior a massa do material, maior sua capacidade de absorver e bloquear as ondas sonoras (CATAI; PENTEADO; DALBELLO, 2006). Portanto, a utilização de paredes e pisos de concreto maciços ou com espessuras consideráveis pode ajudar a reduzir a transmissão de ruído externo e interno.

Além da massa, o concreto pode ser combinado com materiais isolantes acústicos, como lã mineral ou espumas, para melhorar ainda mais suas propriedades acústicas. Esses materiais podem ser incorporados em paredes de concreto pré-fabricadas ou aplicados como revestimento em estruturas de concreto existentes (SILVA et al., 2016).

O concreto pode ser utilizado como uma barreira física para bloquear o som. Por exemplo, muros de concreto são frequentemente utilizados para reduzir a transmissão de ruído em áreas urbanas ou industriais. A espessura e altura do muro, bem como a densidade do concreto utilizado, são considerações importantes para garantir a eficácia da barreira acústica (MARTINS, 2010).

Embora o concreto seja mais conhecido por sua capacidade de bloquear o som, também é possível melhorar sua capacidade de absorção acústica. Isso pode ser feito através da adição de materiais porosos, como fibras ou agregados leves, que ajudam a dissipar e absorver as ondas sonoras incidentes (SILVA et al., 2016).

É importante ressaltar que o desempenho acústico do concreto também está relacionado à qualidade da execução das estruturas. A presença de juntas mal executadas, vazamentos ou falhas na construção pode comprometer a eficácia do tratamento acústico.

2.2.6.2 Espumas

A aplicação de espumas é uma estratégia comumente empregada na indústria da construção e em outros setores onde o controle de ruído é essencial. As espumas acústicas são materiais porosos e leves, projetados para absorver e dissipar o som, reduzindo a propagação de ruídos indesejados em ambientes internos e externos. Também são muito utilizadas para controle de ruído em automóveis (TAO et al., 2021).

Existem diferentes tipos de espumas acústicas disponíveis, incluindo espumas de poliuretano, espumas termoplásticas, entre outras. Cada tipo de espuma possui características específicas que influenciam suas propriedades acústicas, como coeficiente de absorção sonora, perda de transmissão sonora, resistividade do fluxo de ar, permeabilidade ao ar (TAO et al., 2021).

2.2.6.3 Compósitos Laminados

A utilização de compósitos laminados para fins acústicos tem ganhado destaque como uma alternativa eficaz no controle e isolamento de ruídos indesejados. Os compósitos laminados são materiais compostos por diferentes camadas, cada uma com propriedades distintas, que juntas proporcionam benefícios acústicos superiores em comparação com materiais individuais (KUSHWAHA; BAGHA, 2019).

Os compósitos laminados utilizados para fins acústicos geralmente consistem em camadas de materiais como polímeros, fibras de vidro, fibras de carbono e resinas. Cada camada contribui de forma complementar para o desempenho acústico geral do material, fornecendo características como rigidez, amortecimento, isolamento térmico e resistência ao fogo (AMORIM, 2014).

Esses materiais têm a capacidade de fornecer elevado nível de isolamento acústico, bloqueando a propagação do som entre diferentes ambientes. A combinação de diferentes materiais e camadas proporciona uma barreira eficiente contra a transmissão de ruído, reduzindo significativamente a passagem de ondas sonoras. Além do isolamento, os compósitos laminados podem ser projetados para ter

propriedades de absorção acústica. A inclusão de camadas de materiais porosos ou fibrosos permite que o compósito absorva parte das ondas sonoras incidentes, convertendo-as em calor (AMORÓS; FONTOBA; GARCÍA, 2019). Isso contribui para reduzir a reverberação do som e melhorar a qualidade acústica em ambientes internos.

Podem oferecer flexibilidade de projeto, permitindo que sejam moldados em diferentes formas e tamanhos conforme a necessidade específica de cada aplicação. Essa versatilidade facilita sua incorporação em diferentes estruturas e superfícies, como paredes, pisos, tetos e divisórias (LIMA et al., 2014). Possuem alta resistência mecânica e durabilidade, tornando-os adequados para aplicações em ambientes industriais, automotivos e aeroespaciais. Além disso, eles podem ser projetados para resistir a condições ambientais adversas, como umidade, variações de temperatura e exposição a produtos químicos.

Embora não seja especificamente relacionado ao desempenho acústico, os compósitos laminados também oferecem a vantagem de serem mais leves do que materiais tradicionais, como o aço (SILVA; CAMÕES; VASCONCELOS, 2014). Isso é particularmente benéfico em aplicações que requerem redução de peso, como na indústria automotiva e aeroespacial, sem comprometer o desempenho acústico. A aplicação de compósitos laminados para fins acústicos pode ser encontrada em diversas áreas, incluindo construção civil, indústria automotiva, indústria naval e aeroespacial.

2.2.6.4 Madeira

A madeira tem sido amplamente utilizada para fins acústicos devido às suas propriedades naturais que oferecem benefícios no controle e na absorção sonora. A utilização da madeira em projetos acústicos proporciona uma estética agradável, além de contribuir para o conforto acústico e melhorar a qualidade sonora em ambientes internos.

Os painéis de madeira perfurados são projetados com orifícios regulares, que ajudam a absorver as ondas sonoras. Esses painéis podem ser instalados em paredes ou tetos, permitindo que o som penetre na madeira e seja dissipado através dos orifícios, reduzindo a reverberação e melhorando a qualidade acústica do ambiente (LOUREDO, 2019). A aplicação de revestimentos de madeira em paredes, pisos e tetos pode contribuir para a absorção e a difusão do som, reduzindo o tempo de

reverberação e evitando reflexões indesejadas. Além disso, a madeira tem propriedades de absorção sonora intrínsecas, ajudando a minimizar a transmissão de ruídos entre diferentes espaços (PATRAQUIM; LUZ; PATRÍCIO, 2006).

A madeira maciça tem a capacidade natural de absorver parte do som incidente. Portanto, a utilização de elementos de madeira maciça, como painéis ou móveis, pode ajudar a reduzir a propagação do som e melhorar a acústica em ambientes internos. Também pode ser utilizada para criar elementos de difusão sonora. Os elementos difusores ajudam a espalhar as ondas sonoras, evitando a formação de ecos e reflexões diretas, proporcionando uma melhor distribuição do som e uma acústica mais equilibrada do espaço (PEREIRA; SOUZA; PÊGO, 2008).

Além disso, é importante destacar que a escolha da espécie e da densidade da madeira pode afetar seu desempenho acústico. Algumas espécies de madeira têm uma maior capacidade de absorção sonora devido à sua estrutura porosa, enquanto outras podem ser mais eficazes na difusão sonora (ZIMMERMANN; TIMELL, 2006). É essencial considerar esses fatores ao selecionar a madeira para fins acústicos.

2.2.6.5 Têxteis

A aplicação de materiais têxteis para fins acústicos tem se mostrado uma solução eficaz no controle e na melhoria da qualidade sonora em diversos ambientes. Isso se dá pelo fato desses materiais possuírem propriedades porosas e flexíveis, o que os torna excelentes para o isolamento e a absorção sonora, controlando o excesso de reverberação e ajudando a minimizar fontes ruidosas (BERARDI; IANNACE, 2017).

Existem diversas formas de utilizar materiais têxteis para fins acústicos. Painéis fabricados com materiais têxteis, como têxteis acústicos, podem ser aplicados em paredes, tetos, interior de automóveis, a fim de absorver o som e reduzir ruídos indesejados (QIAN et al., 2022). Esses painéis são projetados com uma camada porosa de tecido que permite a penetração do som e sua conversão em energia térmica através do atrito com as fibras do material (SILVA, 2020). Essa absorção sonora contribui para um ambiente com menor quantidade de eco e, conseqüentemente, melhor clareza sonora.

Cortinas e estofados também podem auxiliar na redução da transmissão do som, visto que são feitos de tecidos mais densos, atuando assim como uma barreira física para a propagação das ondas sonoras entre ambientes. Além disso, tecidos

mais espessos (maior gramatura) podem absorver parte do som incidente, ajudando a melhorar a qualidade acústica do espaço (BARBOSA; BARROSO-KRAUSE, 2002).

Revestimentos de parede feitos com materiais têxteis podem oferecer benefícios acústicos significativos. Esses podem ser aplicados diretamente nas paredes, proporcionando uma superfície porosa para a absorção do som e ajudando a reduzir a reverberação, entregando maior conforto acústico, evitando reflexões excessivas e melhorando a clareza do som (KARIMI et al., 2022).

Tapetes e carpetes também são materiais têxteis que podem ajudar a absorver o som e reduzir a propagação de ruídos em ambientes internos (PEDROSO, 2007). Eles possuem uma superfície macia, pode possuir uma estrutura espessa e porosa que absorve parte das ondas sonoras, evitando reflexões indesejadas e proporcionando uma atmosfera mais silenciosa (sensação de som mais abafado) (VASCONCELOS; SANTOS, 2016).

Além da absorção sonora, os materiais têxteis podem ser utilizados em painéis de difusão. Esses painéis possuem uma estrutura texturizada que dispersa as ondas sonoras de forma mais uniforme, evitando reflexões diretas e contribuindo para uma distribuição mais equilibrada do som em um determinado espaço.

Os materiais têxteis para fins acústicos estão disponíveis em uma ampla variedade de cores, padrões e texturas, permitindo uma integração estética em diferentes projetos arquitetônicos e de design de interiores (CHEN et al., 2022). Além de suas propriedades acústicas, muitos materiais têxteis também oferecem benefícios adicionais, como isolamento térmico, resistência ao fogo e durabilidade.

Ao utilizar materiais têxteis para fins acústicos, é importante considerar a eficiência acústica do material escolhido, bem como a forma de instalação e a combinação com outros elementos acústicos no ambiente. Existem parâmetros importantes dos têxteis acústicos a serem considerados, como pode ser observado no Quadro 5.

Quadro 5. Parâmetros importantes dos têxteis acústicos.

PARÂMETRO	RESUMO
Coeficiente de Absorção Sonora	Cada têxtil possui um coeficiente de absorção sonora que indica sua eficiência em absorver o som.
Porosidade	É a razão entre a quantidade de “vazio” na estrutura em relação ao volume total da amostra. Ou seja, a porosidade indica a quantidade de espaço vazio presente na estrutura do material.

Tortuosidade	Refere-se à sinuosidade de espaços vazios da estrutura porosa. Pode ser definido como a distância total em que o ar percorre pelo material dividido pela espessura do material.
Resistividade do Fluxo de Ar	Diz respeito a facilidade com o qual o ar entra e sai do material. É um dos fatores que mais influencia a absorção acústica de um material. É a resistência que o ar sofre ao passar através do material, ou seja, é o inverso da permeabilidade ao ar.
Permeabilidade ao ar	A capacidade do ar entrar e sair do material.
Espessura e Densidade do tecido	A espessura e a densidade do têxtil podem afetar sua capacidade de absorção sonora. Porém, não tem relação ao desempenho acústico do material necessariamente.
Características de reflexão e difusão	Além da absorção, é importante considerar as características de reflexão e difusão do material têxtil. Em alguns casos, pode ser desejável que o têxtil reflita ou difunda parte do som, isso dependerá do objetivo acústico específico.

Fonte: Adaptado de Padhye e Nayak (2016)

É preciso considerar também que materiais têxteis para fins acústicos possuem alguns fatores limitadores. Precisam ser resistente a água, resistente a chama, limpável, resistente a poeira, pragas, fungos e bactérias (ISLAM; BHAT, 2019).

Com relação a espessura do material, alguns estudos apontam que não há melhora significativa de absorção sonora ao adicionar mais camada e aumentar a espessura do TNT. Nesse sentido, na dissertação de Volkart (2021) foi produzido um material nãotecido de poliéster cardado, consolidado termicamente, e chegou-se à conclusão de que o número de camadas pode ser considerado insignificante para o desempenho acústico a partir de certo valor, e mais, que esse fator só é relevante quando se deseja obter maior resistência mecânica.

É importante ressaltar que a utilização exclusiva de materiais têxteis comuns pode não ser suficiente para resolver todos os problemas acústicos em um ambiente. Em alguns casos, é recomendável realizar acabamentos especiais e misturar com outros componentes materiais para mais soluções acústicas (ZHANG et al., 2020).

De forma resumida, os materiais têxteis oferecem uma opção versátil e esteticamente agradável para melhorar as características acústicas de um ambiente. Seja por meio de painéis absorvedores, revestimentos de parede, cortinas ou

carpetes, os materiais têxteis podem contribuir para a redução da reverberação, controle do ruído e criação de espaços acusticamente confortáveis. Ao selecionar e aplicar materiais têxteis para fins acústicos, é fundamental considerar as propriedades específicas de absorção, reflexão e difusão, além de avaliar a integração com outras soluções acústicas para obter os melhores resultados.

3 METODOLOGIA

Na introdução do trabalho foram trazidos os objetivos, problemática e justificativa do tema. Além disso, foi utilizado o método de pesquisa exploratória para a elaboração de uma revisão de literatura com a finalidade de familiarizar o leitor no que diz respeito a história dos não tecidos e seu progresso, à evolução da acústica arquitetônica no Ocidente, bem como compreender os conceitos básicos da acústica, materiais mais utilizados e em quais ambientes podem ser aplicados. A posteriori, o presente estudo visa trazer materiais não tecidos encontrados na literatura voltados para aplicações acústicas. A coleta de dados foi feita através de fonte secundária (livros, artigos de revisão). Os resultados apresentados são de cunho qualitativos e também, foi realizado um estudo do estado da arte dos não tecidos com aplicabilidade para fins acústicos. Para o estado da arte foi utilizado como base de dados o *Scopus* e a *ScienceDirect*, a busca se deu por publicações entre 2019 e junho de 2023, utilizando as seguintes palavras-chave: *soundproofing AND nonwovens; acoustics AND nonwovens; sound insulation AND nonwovens*.

4 O USO DE NÃOTECIDOS PARA FINS ACÚSTICOS

O uso de nãotecidos para fins acústicos é bastante promissor e vantajoso em se tratando de questões ambientais, financeira, entre outras. Estudos mostram que a aplicação desses materiais tem apresentado bom desempenho técnico para o tratamento acústico de diferentes ambientes. Muito tem sido explorado sobre o uso de fibras naturais como matérias-primas de nãotecidos voltados a acústica. O crescente interesse em materiais compósitos contendo fibras naturais se deve a diversas vantagens que estes têm em relação aos materiais convencionais como aqueles baseados em resina epóxi e fibras de carbono (KUMAR; ALLAMRAJU, 2019).

No estudo de Kumar e Allamraju (2019) foi avaliada as propriedades acústicas de três fibras naturais (juta, sisal e kenaf) como fibras de reforço em materiais compósitos. O interesse surgiu pelo fato de serem fibras de baixo custo, biodegradáveis e por possuírem boas propriedades mecânicas. A fibra de juta se mostrou mais promissora e foi constatado que esta pode melhorar a eficiência do isolamento acústico a partir de tratamentos químicos. Em outro estudo, Singh et. al (2022) também comentam da boa capacidade de absorção sonora da fibra de juta, e, por ser uma fibra volumosa, altamente porosa, podem ser consideradas adequadas para produção de nãotecidos para aplicações acústicas.

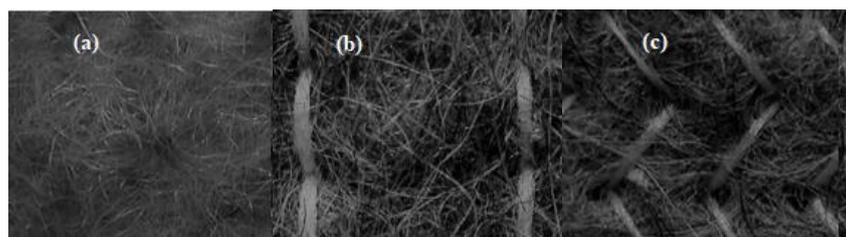
Por outro lado, Zakriya et al. (2021) foram mais a fundo e propuseram um material compósito de 50% juta e 50% poliéster de alto volume. Para a produção do TNT, as fibras foram abertas, misturadas, cardadas e foi utilizado o método de agulhagem para a consolidação. Após a fabricação da estrutura nãotecida, foi utilizada a técnica de moldagem por compressão para a produção do compósito de TNT. A temperatura para o processo de consolidação térmica foi de 160 °C e o tempo foi de 15 a 30 minutos sob uma pressão de $0,6 \pm 0,02$ Mpa. Como resultado, obteve-se um material relativamente flexível, ecológico e com alta capacidade de redução de ruído. Porém, os autores reportaram que o material pode se deteriorar facilmente quando expostos a intempéries, sendo então recomendados para aplicações acústicas de ambientes internos, com atmosfera padrão e constante (ZAKRIYA; PRAKASH; RAMAKRISHNAN, 2021).

A partir da técnica de consolidação por agulhagem, Aly et al. (2021) propuseram avaliar a eficiência acústica de compósitos a partir de três nãotecidos reciclados: juta 100% com 800 g/m², poliéster 100% com 800 g/m² e TNT híbrido de

juta e poliéster (80:20%) com 1200 g/m², tendo o polipropileno (PP) como matriz. O compósito foi moldado termicamente por 5 minutos em uma temperatura de 195 °C com o auxílio de uma prensa hidráulica, de forma que o polipropileno fosse fundido junto ao TNT. Em seguida, uma amostra de 1 x 1 m foi resfriada por 10 minutos. As três combinações dos compósitos apresentaram redução na transmissão sons de frequências baixas. Os compósitos contendo juta e juta-poliéster obtiveram os melhores resultados para a absorção de sons de alta frequência, enquanto a blenda de PP e TNT de poliéster 100% apresentou um comportamento flutuante.

Broda et al. (2020) investigaram não tecidos agulhados de lã, com consolidação por costuramento paralelo e em zig-zag utilizando o sistema *Maliwatt*. Conforme a Figura 6:

Figura 6: Imagens de TNT de Lã agulhada e consolidada por costuramento, (a) TNT agulhado, (b) TNT com costura paralela, (c) TNT com costura zig e zag.



Fonte: Adaptado de BRODA; BAÇZEK (2020)

A partir de fibras com diâmetro variando entre 0,000025 e 0,000032 metros e comprimento entre 0,08 e 0,13 metros foi obtido dois TNTs, com espessura de 0,054 e 0,106 metros. O fio utilizado para costura foi produzido a partir de fibras recicladas. Posteriormente, foi avaliada a absorção sonora desses não tecidos com uma ou mais camadas. As estruturas multicamadas melhoram a capacidade de isolamento. Os autores relatam que os TNTs mais espessos obtiveram maior absorção sonora (BRODA; BAÇZEK, 2020). Porém, existe um ponto ótimo de espessura, de forma que a adição de uma terceira camada acaba sendo menos significativa, ou seja, a maior melhoria na absorção sonora foi atingida quando foi adicionada a segunda camada, o aumento da espessura a partir disso não gera mudanças significativas na absorção do som. Com relação ao tipo de costura, o TNT com costura paralela possui maior permeabilidade ao ar.

Outra fibra natural com grande potencial acústico é a fibra de cânhamo. É esperado que, quanto mais porosa e quanto mais espessa for a estrutura do TNT,

maior o seu coeficiente de absorção. Nesse sentido, materiais fibrosos de cânhamo exibiriam alta eficiência de absorção sonora, além de serem ecológicos (LIAO; ZHANG; TANG, 2022). Foram investigados diversos compósitos diferentes com TNT feito de fibra de cânhamo misturado com outras fibras sintéticas, porém, com poucos estudos relacionados as propriedades de isolamento acústicos, isso significa que ainda tem muito o que ser explorado.

Muthukumar e Thilagavathi (2023) testaram o desempenho acústico de um não tecido produzido a partir da fibra de areca, extraída da semente de uma palmeira típica da Índia, usando a fibra de PET com baixo ponto de fusão como agente ligante. O diâmetro da fibra de areca varia entre 0,000028 e 0,000046 metros e comprimento de 0,04 metros. O PET possui densidade linear de 1,4 denier, 0,038 metros de comprimento e temperatura de ligação térmica de 115 °C. O véu foi produzido a mártir de uma máquina de carda pequena e consolidado pelo processo de agulhagem. Para aumentar a adesão mecânica, o TNT foi levado para a máquina de calandragem a temperatura de 120 °C, sem que houvesse nenhuma reação química entre as fibras de areca e PET. Foram fabricados não tecidos com 4 proporções diferentes: 100% areca; areca e PET (90:10); areca e PET (80:20) e areca e PET (70:30). A composição de não tecido com 80% areca e 20% PET foi a que obteve melhor coeficiente de absorção sonora, e se mostrou adequado para o tratamento acústico de auditórios e salas de concertos. Em termos ambientais, as fibras de areca do TNT preparado nesse estudo se deterioram em 4 meses enquanto as fibras de poliéster podem ser recicladas.

Existem alguns desafios a serem superados com relação a utilização de não tecidos a partir de fibras naturais, devido a falta de homogeneidade dessas estruturas, acaba ficando difícil de avaliar os métodos de caracterização de eficiência acústica comumente utilizados (SILVA et al., 2019). Com relação as fibras sintéticas, o PET se destaca, podendo ser reciclado, possuir baixo custo, facilidade de processo de fabricação, entre outros. Yang et al. (2022) realizaram um experimento com não tecidos de PET, variando sua espessura, densidade de área (g/m^2), densidade aparente (kg/m^3) e porosidade (%). Constatou-se que o material com alta densidade de área e baixa porosidade obteve maior resultado de resistividade ao fluxo de ar. Na pesquisa de Antolinc et al. (2021), percebeu-se que com o aumento da resistividade ao fluxo de ar, o coeficiente de absorção sonora aumenta.

No estudo de Karimi et al. (2022) foi constatado que o polipropileno possui uma gama ampla de aplicações devido a sua excelente resistência à corrosão e química, baixa absorção de umidade, processo de produção relativamente simples, baixo custo e boa reciclabilidade. Nessa pesquisa foi testada a eficiência acústica de amostras de TNT 100% PP agulhado. Os principais parâmetros variados para o método de comparação foram: espessura do material, porosidade e densidade linear. Notou-se que materiais com fibras mais finas e alta porosidade possuem boa absorção sonora de frequências baixas, médias e altas. Por outro lado, TNTs produzidos a partir de fibras de PP de maior diâmetro e menor porosidade conseguem ter uma boa eficiência acústica apenas em baixas frequências. Apesar dos benefícios do material, vale salientar que o potencial de inflamabilidade da fibra de PP pode limitar em projetos de construção civil. Para resolver esse problema é recomendado realizar um acabamento e revestimentos retardantes de chama (KARIMI et al., 2022).

Para a produção de não tecidos com a finalidade de isolamento, principalmente de fibras sintéticas (poliéster, polipropileno, poliamida, e etc.), é importante que se realize um acabamento de retardância às chamas (ABUTALIPOVA et al., 2023). No estudo de Abutalipova et al. (2023) foi investigado o efeito nas propriedades físicas e mecânicas de TNTs contendo acabamento retardante de chamas.

Sivri e Haji (2022) realizaram um estudo comparando três TNTs 100% PP produzidos por processos diferentes: TNT fundido, TNT agulhado e TNT híbrido (fundido e agulhado). Os pesquisadores concluíram que a amostra de TNT por via fundida teve maior desempenho acústico, isso se deu pelo fato de as fibras que o compunha possuírem menor diâmetro. O TNT agulhado obteve menor desempenho de absorção acústica, mas pode ser melhorada se combinada com o TNT fundido. O TNT por via fundida tem grande potencial para soluções acústicas no interior de automóveis.

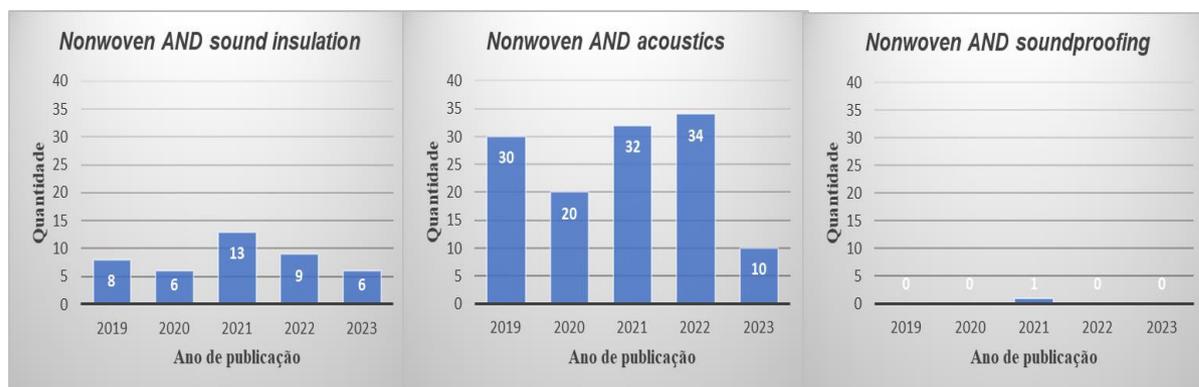
Ainda com relação a fibras sintéticas, McNeil e Gupta (2022) comentam que tem sido estudadas formas de aumentar a eficiência acústica de não tecidos de polietileno (PE) com partículas de aerogel de sílica. Esta pode ser uma ótima alternativa para aplicações na construção civil, pelo fato de ser hidrofóbico e de algumas aplicações dessa tecnologia ter a capacidade de absorver frequência na faixa de 1000-6000 Hz. Há diversas formas de implementar partículas de aerogel em TNTs,

bem como a partir de eletrofiação, pulverização eletrostática, ligação térmica, entre outras maneiras (MAZROUEI-SEBDANI et al., 2021).

4.1 Relevância e Tendências

Foi realizada uma análise cientométrica para avaliar o número de publicações envolvendo os termos: *nonwoven*; *acoustics*; *sound insulation*; *soundproofing*. Durante o período de 2019 e junho de 2023 em duas bases de dados da editora *Elsevier*: *Scopus* e *ScienceDirect*, para a obtenção de dados sobre a quantidade de estudos referentes a aplicação de não tecidos para fins acústicos, tendo como resultado os dados expressos na Figura 7 e Figura 8. A figura 7 refere-se a pesquisa realizada na base de dados *Scopus*, usando três combinações diferentes de palavras-chave. Dá mesma forma, o a Figura 8 refere-se a pesquisa realizada na base de dados *ScienceDirect*.

Figura 7 Artigos encontrados na Base de Dados no Scopus.



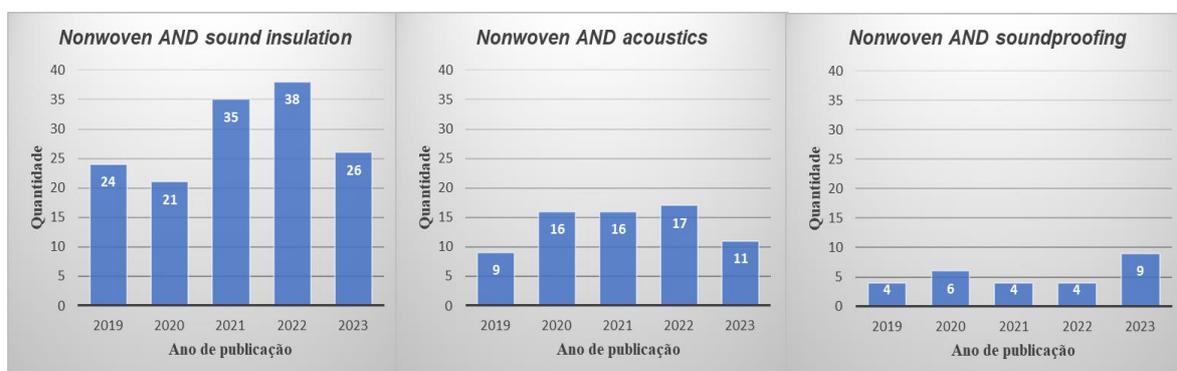
Fonte: o autor.

Pelo fato de, tanto a base de dados *Scopus* quanto a base de dados *ScienceDirect*, serem da editora *Elsevier*, alguns artigos apareceram em ambas as pesquisas. Porém, é perceptível a diferença de resultados encontrados de não tecidos direcionados a aplicações acústicas, os resultados variaram de acordo com as palavras-chave. Vale ressaltar que, em ambas as pesquisas, foram selecionados os mesmos filtros: ano de publicação de 2019 até junho de 2023, apenas artigos e revisões e mesmas palavras-chave.

Apesar da quantidade de artigos encontrados, poucos se enquadraram no tema de não tecidos com aplicabilidade para fins acústicos, ou seja, há carência de novas pesquisas relacionadas. Muito tem sido explorado sobre o assunto no

continente asiático e a maioria dos estudos realizados entre esses 5 anos foram nos anos de 2021 e 2022.

Figura 8 Artigos encontrados na Base de Dados no ScienceDirect.



Fonte: o autor.

5 CONCLUSÃO

Devido a necessidade de seguir os parâmetros exigidos relacionados a questões de saúde, segurança e sustentabilidade, a demanda pela inovação de tecnologia de nãotecidos tem sido voltada mais para materiais da área de construção civil, áreas domésticas, industriais, indústria automobilística, entre outras, em que o objetivo principal é o controle de ruído. Não à toa, fala-se bastante da questão do reaproveitamento de resíduos têxteis e de fibras geradas pela agroindústria, considerados os dois setores mais poluentes nos dias de hoje.

Estudos de materiais nãotecidos para fins acústicos relacionados a áreas de arte e entretenimento, em que a inteligibilidade da palavra é requisitada, como tratamento acústico de anfiteatros, igrejas, salas de aula, estúdios de música, cinema e afins não tem sido muito comentado. Nesse caso, é imprescindível avaliar o tempo de reverberação dos ambientes.

Apesar de muitos estudos apontarem grande potencial dos TNT para fins acústicos, ainda há muito o que ser investigado. Com relação as fibras naturais, a maioria dos estudos apresentam a fibra de juta como potencial matéria-prima para produção de nãotecidos absorvedores sonoros, porém muitos estudos ainda inconclusivos.

As fibras sintéticas são bastante promissoras devido ao seu baixo custo, não sofrem ataques biológicos, podem ser facilmente recicladas, permitem alta diversidade de diâmetro, entre outros fatores. Porém, precisam receber tratamento de resistência a chama.

Os principais materiais nãotecidos encontrados e de alta eficiência acústica foram os materiais compósitos e de multicamadas. Além disso, tem sido investigado a possibilidade de tornar TNTs como materiais isolantes eficientes, visto que esses materiais são considerados como potenciais absorvedores acústicos.

Há bastante variabilidade de parâmetros usados para investigar fatores que realmente influenciam a capacidade de absorção sonora dos materiais. Esses parâmetros variam entre: coeficiente de absorção, tortuosidade, permeabilidade ao ar, porosidade, resistência ao fluxo de ar, espessura, densidade e tipos de processos de fabricação do TNT. No entanto, pouco tem sido falado com relação aos fatores limitantes para que um material possa ser considerado um isolante ou absorvedor

acústico promissor (resistentes a chama, bactérias, fungos, ácaros, baixa afinidade com a água).

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS / GAP'S

- Buscar soluções rentáveis relacionadas a inflamabilidade de TNTs para fins acústicos;
- Investigar os efeitos dos tratamentos retardante de chama em não tecidos para fins acústicos;
- Investigar o problema da falta de homogeneidade de TNTs a partir de fibras naturais para obter-se parâmetros acústicos corretos referentes a variação da densidade desses materiais;
- Investigar a influência dos diferentes tipos de processos de fabricação de não tecidos para fins acústicos.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABUTALIPOVA, L. N., ZIYATDINOVA, D. R., LISANEVICH, M. S., MUSIN, I. N., MEZENTSEVA, E. V., & MISHAKOV, V. Y. (2023). Investigation of Effect of Fireproofing Finish on Physical and Mechanical Properties of Hollow Fiber Constructional Nonwovens. *Fibre Chemistry*, 1-5.

ADANUR, S. (1997). *Paper Machine Clothing: Key to the Paper Making Process*. CRC Press.

AHNERT, W., & STEFFEN, F. (2000). *Sound reinforcement engineering: fundamentals and practice*. CRC Press.

ALARCÃO, D., FAFAIOL, C., & COELHO, J. B. (2008). Acústica de salas de aula. *Acústica*.

ALBERDI, E., GALINDO, M., LEÓN-RODRÍGUEZ, A. L., & LEÓN, J. (2021). Acoustic behaviour of polychoirs in the Baroque church of Santa María Magdalena, Seville. *Applied Acoustics*, 175, 107814.

ALVES, C., SILVA, A. J., REIS, L. G., FREITAS, M., RODRIGUES, L. B., & ALVES, D. E. (2010). Ecodesign of automotive components making use of natural jute fiber composites. *Journal of cleaner production*, 18(4), 313-327.

ALY, N. M., SEDDEQ, H. S., ELNAGAR, K., & HAMOUDA, T. (2021). Acoustic and thermal performance of sustainable fiber reinforced thermoplastic composite panels for insulation in buildings. *Journal of Building Engineering*, 40, 102747.

AMORIM, P. G. R. (2014). **Produção de compósitos termo acústicos a base de resíduos reciclados provenientes da construção civil**.

AMORÓS, J. E. C., FONTOBA, J., & GARCÍA, F. J. P. (2019). Estudio de la acústica de paneles sostenibles. In *Avances en el área de materiales y sus procesos 2018* (pp. 7-19). 3ciencias.

ANDRADE, S. B. D. (2021). **Elaboração de painéis acústicos com a utilização de materiais sustentáveis alternativos**.

ANTOLINC, D., & FILIPIČ, K. E. (2021). Recycling of nonwoven polyethylene terephthalate textile into thermal and acoustic insulation for more sustainable buildings. *Polymers*, 13(18), 3090.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10152**: Acústica - Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. 2 ed. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 22 p.

BAJOUCO, B. R. F. P. (2022). **Diagnóstico de ruído no automóvel** (Doctoral dissertation, Instituto Politecnico de Leiria (Portugal)).

BARBOSA, A. D. G., & BARROSO-KRAUSE, C. (2002). **Planejando habitações sustentáveis para uma vida longa: novas necessidades para uma população mais madura.** São Paulo: Nutau, USP.

BARRON, R. F. (2002). *Industrial noise control and acoustics.* **CRC Press.**

BENOCCI, R., BISCEGLIE, A., ANGELINI, F., & ZAMBON, G. (2020). Influence of traffic noise from local and surrounding areas on high-rise buildings. *Applied Acoustics*, 166, 107362.

BENTO, C., FOIATO, M., & CARELLI, J. M. (2021). Análise do desempenho térmico e acústico de elementos e esquadrias com diferentes configurações. *Conhecimento em Construção*, 8, 7-32.

BERARDI, U., & IANNACE, G. (2017). Predicting the sound absorption of natural materials: Best-fit inverse laws for the acoustic impedance and the propagation constant. *Applied Acoustics*, 115, 131-138.

BOOMINATHAN, S., BHUVANESHWARI, M., SANGEETHA, K., PACHIYAPPAN, K. M., & DEVAKI, E. (2022). Influence of fiber blending on thermal and acoustic properties nonwoven material. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 11193-11203.

BRODA, J., & BAÇZEK, M. (2020). Acoustic properties of multi-layer wool nonwoven structures. *Journal of Natural Fibers*, 17(11), 1567-1581.

BRUNEAU, M. (2013). *Fundamentals of acoustics.* **John Wiley & Sons.**

CAIROLI, M. (2020). Identification of a new acoustic sound field trend in modern catholic churches. *Applied Acoustics*, 168, 107426.

CARVALHO, V. P. D. (2019). **Estudo e avaliação da acústica de home studios.**

CATAI, R. E., PENTEADO, A. P., & DALBELLO, P. F. (2006, NOVEMBER). Materiais, técnicas e processos para isolamento acústico. *In Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais* (Vol. 17, pp. 4205-4216).

CHAUDHARI, S., MANDOT, A., MILIN, P., & KARANSINGH, M. (2008). A review on nonwoven fabrics used in apparel. *Academia. Edu*, 1-9.

CHEN, J., LI, H., ZHANG, C., GONG, J., LI, Z., LI, Q., & ZHANG, J. (2022). Flexible sound insulator with subwavelength film structure for noise reduction. *Progress in Organic Coatings*, 162, 106569.

CHENG, Y. Y., RATH, E. M., LINTON, A., YUEN, M. L., TAKAHASHI, K., & LEE, K. (2020). The current understanding of asbestos-induced epigenetic changes associated with lung cancer. *Lung Cancer: Targets and Therapy*, 1-11.

CHEREMISINOFF, N. P. (1996). *Noise control in industry: A practical guide.* **Elsevier.**

CHING, F. D. (2023). *Architecture: Form, space, and order.* **John Wiley & Sons.**

CORDEIRO, R., CLEMENTE, A. P. G., DINIZ, C. S., & DIAS, A. (2005). Exposição ao ruído ocupacional como fator de risco para acidentes do trabalho. *Revista de Saúde Pública*, 39, 461-466.

COX, T. J., & D'ANTONIO, P. (2009). *Acoustic absorbers and diffusers: theory, design and application*. CRC Press.

DE ALMEIDA MARTINS, T. (2010). Análise e tratamento acústico para estúdios musicais.

DE OLIVEIRA FILHO, M. V. M., & ZANNIN, P. H. T. (2012). Estudo e projeto acústico de um ambiente para gravação musical—estudo de caso. *Revista de acústica*, 43(1), 13-18.

DOMENIGHINI, P., BELLONI, E., & BURATTI, C. (2023). Experimental subjective and objective analysis of speech intelligibility and acoustic comfort conditions in an unchanged XVII century Italian church. *Applied Acoustics*, 205, 109267.

DREOSSI, R. C. F., & MOMENSOHN-SANTOS, T. (2005). O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 17, 251-258.

DUNN, F., HARTMANN, W. M., CAMPBELL, D. M., & FLETCHER, N. H. (2015). *Springer handbook of acoustics*. Springer.

EVEREST, F. A., & POHLMANN, K. C. (2001). *The master handbook of acoustics* (Vol. 4). New York: McGraw-hill.

FARIA, P. H. D. (2013). Tratamento acústico na construção civil.

FERNANDES, J. C., SANTOS, L. N. D., & CARVALHO, H. J. M. D. (2011). Evaluation of acoustic performance of a dental office. *Production*, 21, 509-517.

FIGUEIREDO, F. L. (2005). **Critérios para Avaliação da Qualidade Acústica de Salas de Música** (Doctoral dissertation, Dissertação (Mestrado em Musicologia) Universidade de São Paulo).

FUCHS, H. V. (2015). Rock and Pop Venues. Acoustic and Architectural Design. Von Adelman-Larsen, NW. *Bauphysik*, 2(37), 138-138.

FUJIMOTO, A. K., BISTAFA, S. R., & VIVEIROS, E. B. (2005). Estudo da qualidade acústica de uma sala residencial para uso de sistemas de áudio e vídeo. In *Proceedings of the 2. II Seminário de Música, Ciência e Tecnologia*.

GALLAGHER, M. (2009). *The music tech dictionary: a glossary of audio-related terms and technologies*. Muska/Lipman.

GANIME, J. F., ALMEIDA DA SILVA, L., ROBAZZI, M. L. C. C., VALENZUELA, S. S., & FALEIRO, S. A. (2010). O ruído como um dos riscos ocupacionais: uma revisão de literatura. *Enfermería Glob*, 19, 1-15.

HABAULT, D., & FILIPPI, P. (1999). Analytic expansions and approximation methods. In *Acoustics* (pp. 159-188). London: Academic Press.

HARIPRASAD, K., RAVICHANDRAN, K., JAYASEELAN, V., & MUTHURAMALINGAM, T. (2020). Acoustic and mechanical characterisation of polypropylene composites reinforced by natural fibres for automotive applications. *Journal of Materials Research and Technology*, 9(6), 14029-14035.

HASSAN, F., ZULKIFLI, R., GHAZALI, M. J., & AZHARI, C. H. B. C. (2017). Kenaf fiber composite in automotive industry: an overview. *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology*.

HUTTEN, I. M. (2007). *Handbook of nonwoven filter media*. Elsevier.

ISLAM, S., & BHAT, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. *Journal of environmental management*, 251, 109536.

KALEBEK, N. A. (2016). Sound absorbing polyester recycled nonwovens for the automotive industry. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, (1 (115), 107-113.

KARIMI, F. Acoustic and thermal performance of polypropylene nonwoven fabrics for insulation in buildings. *Journal Of Building Engineering*. Isfahan, p. 1-16. 26 jan. 2022.

KOZLOWSKI, R. M., & MACKIEWICZ-TALARCZYK, M. (EDS.). (2020). *Handbook of natural fibres: volume 1: types, properties and factors affecting breeding and cultivation*. Woodhead Publishing.

KUMAR, P. S. S., & ALLAMRAJU, K. V. (2019). A review of natural fiber composites [Jute, Sisal, Kenaf]. *Materials Today: Proceedings*, 18, 2556-2562.

KUSHWAHA, S., & BAGHA, A. K. (2020). Application of composite materials for vibroacoustic—A review. *Materials Today: Proceedings*, 26, 1567-1571.

KUTTRUFF, H. (2007). *Acoustics: an introduction*. CRC Press.

KUTTRUFF, H., & MOMMERTZ, E. (2012). Room acoustics. In *Handbook of engineering acoustics* (pp. 239-267). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

LAMOUNIER, M. M. (2008). **Cr terios para sele o de materiais acústicos utilizados em recintos fechados para diferentes tipologias.**

LEFEBVRE, J. P. (1998). Physical basis of acoustics. *Acoustics: Basic Physics, Theory, and Methods*, 1.

LEITE, J. R. V. (2016). Desenvolvimento de compósitos de resina epóxi/não tecido utilizando refugio da indústria de não tecido.

LIAO, J., ZHANG, S., & TANG, X. (2022). Sound absorption of hemp fibers (*Cannabis Sativa L.*) based nonwoven fabrics and composites: A review. *Journal of natural Fibers*, 19(4), 1297-1309.

LIMA, É. L., DIAS, L., OLIVEIRA, L., & HALASZ, M. R. (2014). Reutilização da borracha proveniente da recauchutagem de pneus para confecção de placas isolantes termo acústicas. *Enciclopédia Biosfera*, 10(18).

LIMA, G. N. D. S. (2021). **Qualidade acústica aplicada a um home studio e sua relação com materiais de baixo custo.**

LONG, M. (2005). *Architectural acoustics*. Elsevier.

LOSSO, M., & VIVEIROS, E. (2004, JULY). Gesso acartonado e isolamento acústico: teoria versus prática no Brasil. In *I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável-X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. São Paulo.

LOUREDO, J. D. M. (2019). **Painéis acústicos em bambu: propriedades mecânicas e acústicas de painéis aglomerados biocompósitos produzidos a partir de bambu e ácido cítrico.**

MAIO, A. C. M. (2011). **Arquitetura e Música: Acústica de Salas de Concerto.**

MARCATO, J. G., KRAMBEK, R. Z., & MORENO, R. B. (2021, APRIL). Relação entre níveis de ruído, produtividade e uso de epi em uma pequena empresa calçadista. In *Colloquium Exactarum*. ISSN: 2178-8332 (Vol. 13, No. 1, pp. 19-29).

MARQUES, M., VENTURELLI, R. B., SOUZA, A. A. U., & IMMICH, A. P. S. (2015). Estudo Na Obtenção de Nãotecidos de Poliamida Através Da Eletrofiação Com Propriedades Antichama. In *Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica-Cobeq IC 2015* (pp. 2433-38).

MARTÍNEZ, M. G., GARCÍA, J. J. J., CEBALLOS, L. Y., VALENCIA, A. M., ZAPATA, M. A. V., & TRESPALACIOS, E. M. V. (2012). Ruido industrial: efectos en la salud de los trabajadores expuestos. *Revista CES Salud Pública*, 3(2), 174-183.

MATEUS, D., PEREIRA, A., & GODINHO, L (2016). **Estudo de condicionamento acústico de um estúdio de gravação de música—da concepção à execução.**

MAZROUEI-SEBDANI, Z., BEGUM, H., SCHOENWALD, S., HOROSHENKOV, K. V., & MALFAIT, W. J. (2021). A review on silica aerogel-based materials for acoustic applications. *Journal of Non-Crystalline Solids*, 562, 120770.

MCNEIL, S. J., & GUPTA, H. (2022). Emerging applications of aerogels in textiles. *Polymer Testing*, 106, 107426.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **NR 15: Atividades e Operações Insalubres**. 1 ed. Brasília: Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1978. 2 p.

MOHAMMED, H., & SUKUMAR, N. (2022). Water Penetration and Abrasion Resistance of Functional Nonwoven Fabrics Produced Using Recycled Cotton and Acrylic Fibers. *Journal of Natural Fibers*, 19(15), 10001-10014.

MORAVCSIK, M. J. (2001). *Musical sound: an introduction to the physics of music*. Springer Science & Business Media.

MORAVCSIK, M. J. (2001). *Musical sound: an introduction to the physics of music*. Springer Science & Business Media.

MÖSER, M. (2009). Engineering acoustics. Nova York (Estados Unidos): **Springer Publishing**.

MUTHUKUMAR, N., & THILAGAVATHI, G. (2023). Development of areca husk fiber/low melt PET needle punched nonwovens for building insulation applications. *Materials Today: Proceedings*.

NÉSPOLI, E. (2006). Música, corpo e espaço: repensando o papel da música na sociedade contemporânea. In **CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM MÚSICA** (Vol. 16).

PADHYE, R., & NAYAK, R. (EDS.). (2016). *Acoustic textiles*. Singapore: Springer.

PATEL, B. M., & BHRAMBHATT, D. (2008). Nonwoven technology. *Textile Technology*, 1-54.

PATRAQUIM, K., & LUZ, P. (2008). **Painéis acústicos de design inovador**. Universidade de Coimbra. Portugal.

PATRAQUIM, R. J., LUZ, P. F., & PATRÍCIO, J. V. (2006). **A utilização da madeira no condicionamento acústico**. *37ª Tecniacústica*.

PAUL, P., AHIRWAR, M., & BEHERA, B. K. (2022). Acoustic behaviour of needle punched nonwoven structures produced from various natural and synthetic fibers. *Applied Acoustics*, 199, 109043.

PEDROSO, M. A. T. (2007). **Estudo comparativo entre as modernas composições de pisos flutuantes quanto ao desempenho no isolamento ao ruído de impacto**.

PENG, Y., ANTANURI, N., LAU, S. K., JEBELLI, B., JUSUF, S. K., MILLER, C., ... & CHONG, A. (2023). Experimental assessment of thermal and acoustics interactions on occupant comfort in mixed-mode buildings. *Building and Environment*, 238, 110342.

PENICK, T. (2000). ENGINEERING ACOUSTICS EE 363N. Disponível em: <www.teicontrols.com/notes>.

PEREIRA, A. F., SOUZA, R., & PÊGO, K. (2008). Projeto ECOPOLO: design de componentes arquitetônicos visando a sustentabilidade nos edifícios e no Vale do Jequitinhonha. *Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído*.

PINTO, B. G. (2022). **Proposta de uma nova metodologia para a reciclagem de máscaras descartáveis de não-tecido** (Doctoral dissertation).

PURDY, A. T. (1983). Developments in non-woven fabrics. *Textile Progress*, 12(4), 1-86.

QIAN, Y., GUO, Z., LI, N., WANG, Y., XIN, Y., & OSTRIKOV, K. K. (2022). Composite Sound-Absorbing Materials Using Electrospun PS Fibrous Membranes and Needle-Punched PET Non-Woven Fabrics. *Journal of Fiber Science and Technology*, 78(1), 18-27.

RABELO, A. T. V., SANTOS, J. N., OLIVEIRA, R. C., & MAGALHÃES, M. D. C. (2014, SEPTEMBER). Effect of classroom acoustics on the speech intelligibility of students. In *CoDAS* (Vol. 26, pp. 360-366). **Sociedade Brasileira de Fonoaudiologia**.

REWALD, F. G. (2006). Tecnologia dos Não tecidos. *LCTE, São Paulo*.

RINDEL, J. H. (2017). **Sound insulation in buildings**. CRC Press.

ROCCA, M., DI PUCCIO, F., FORTE, P., & LECCESE, F. (2022). Acoustic comfort requirements and classifications: Buildings vs. yachts. *Ocean Engineering*, 255, 111374.

RODRIGUES, H. E. (2018). **Avaliação de materiais atenuantes para o ruído industrial emitido por equipamento de beneficiamento de sementes**.

ROSA, E. V. D. (2021). **Estudo da influência das camadas de não tecido formada pelo dobrador de véus horizontal na absorção acústica**.

ROSSING, T. D. (2014). Introduction to acoustics. *Springer handbook of acoustics*, 1-7.

RUSSELL, S. J. (2022). *Handbook of nonwovens*. **Woodhead Publishing**.

SABINE, W. C. (1906, JUNE). Architectural acoustics. In *Proceedings of the American Academy of Arts and Sciences* (Vol. 42, No. 2, pp. 51-84). **American Academy of Arts & Sciences**.

SALMAZO, L. O., BELLUCCI, F. S., GIL, A. L., PÉREZ, M. A., & JOB, A. E. (2004). **Estudo das propriedades morfológicas, estruturais e acústicas de espumas de borracha natural**.

SANTO, R. E., & HORIZONTE-MG-BRASIL, C. B. (2019). **Análise das características acústicas de um estúdio de gravação-um estudo de caso**.

SANTOS, M. M. D. (2022). **Técnicas da alfaiataria: um experimento utilizando as melhores técnicas para o blazer**.

SILVA, C. C. B., TERASHIMA, F. J. H., BARBIERI, N., & DE LIMA, K. F. (2019). Sound absorption coefficient assessment of sisal, coconut husk and sugar cane fibers for low frequencies based on three different methods. *Applied Acoustics*, 156, 92-100.

SILVA, H. R. T., CAVALCANTE, B. M. M., HOFFMANN, J. V. J., EGERT, P., & MAGNAGO, R. F. (2016). **Estudo sobre a produção de placas de isolamento acústico com incorporação de aparas de EVA. 22^o CBECiMat–Natal–RN.**

SILVA, K. T. D. (2020). **Concreto têxtil: estudo do comportamento da resistência à tração na flexão de painéis para fachadas.**

SILVA, L. M. C. C., CAMÕES, A., & VASCONCELOS, G. (2014). **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica.**

SILVA, T. E. L. D. (2008). **Guião da acústica de igrejas em Portugal.**

SINGH, S., & KAPOOR, R. R. (2022). **Acoustic Characteristics of Woven Jute Fabric.**

TAKAHASHI, V. F. D. M., & BERTOLI, S. R. (2012). Relação entre atributos acústicos e características arquitetônicas de salas de concerto aplicando o método da síntese da forma. *Ambiente Construído*, 12, 193-205.

TAO, Y., REN, M., ZHANG, H., & PEIJS, T. (2021). Recent progress in acoustic materials and noise control strategies—A review. *Applied Materials Today*, 24, 101141.

TEMPLETON, D., & SAUNDERS, D. (2014). *Acoustic design*. Elsevier.

TIMAGENIS, I., TIMAGENIS, T., & TIMAGENIS, A. (2022). Resolving the acoustics of contemporary Byzantine churches. The new orthodox cathedral of Tirana in Albania as the first scientific paradigm. *Applied Acoustics*, 198, 108990.

VASCONCELOS, G. K. F., & SANTOS, H. R. N. D. (2016). **Avaliação do desempenho acústico em pisos intemos das edificações segundo a nbr 15575 (abnt, 2013) e a influência nos diferentes sistemas de pisos.**

WILKS, E. S. (2001). **Industrial polymers handbook: products, processes, applications.**

YANG, T., HU, L., XIONG, X., PETRŮ, M., PALANISAMY, S., YANG, K., ... & MILITKÝ, J. (2021). Experimental and Modelling Studies on Thermal Insulation and Sound Absorption Properties of Cross-Laid Nonwoven Fabrics. *Autex Research Journal*, 22(3), 264-271.

ZAKRIYA, G. M., PRAKASH, C., & RAMAKRISHNAN, G. (2021). Exploration of Jute-HCP Composites Material for Building Environments. *Journal of Natural Fibers*, 18(11), 1689-1698.

ZHANG, C., GONG, J., LI, H., & ZHANG, J. (2020). Fiber-based flexible composite with dual-gradient structure for sound insulation. ***Composites Part B: Engineering***, 198, 108166.

ZIMMERMANN, M. H., & TIMELL, T. (1983). **Springer series in wood science.**