



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE  
MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**Avaliação do efeito da adição de carga nas  
propriedades acústicas do PMMA**

**Marina Rabelo Moreira**

**Belo Horizonte-MG  
2015**



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE  
MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA  
CURSO DE QUÍMICA TECNOLÓGICA**

**Avaliação do efeito da adição de carga nas  
propriedades acústicas do PMMA**

**Marina Rabelo Moreira**

Monografia apresentada ao Curso de  
Química Tecnológica do CEFET-MG como  
parte das exigências da disciplina Trabalho  
de Conclusão de Curso II (TCC II).

**Orientador:** Prof. Dr. Claudinei Rezende  
Calado

**Banca Examinadora:**

**Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado (orientador)**

**Prof<sup>a</sup> Dra. Angela de Mello Ferreira**

**Prof. Dra. Patrícia Santiago de Oliveira Patricio**

**Monografia aprovada em 26 de 01 de 2015**

**Belo Horizonte-MG  
2015**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Claudinei Rezende Calado pela orientação, incentivo, dedicação e, principalmente, pelo aprendizado que obtive.

Aos demais professores que ao longo do curso transmitiram importantes lições sobre a química e a vida.

A minha família, pelo apoio, incentivo e carinho durante toda a minha trajetória.

Ao meu namorado, Diego, por estar presente em todos os momentos, sempre me dando forças para seguir em frente.

Aos meus colegas de curso, por tornarem todos os momentos mais alegres e interessantes. Em especial: Amanda Lemes, que sempre será minha dupla fixa, Raquel Fonseca, Mariana Mendonça, Paula Correa e Gabriele Cardoso.

Aos meus amigos de longa data: Anna Cristina, Bárbara, Eduardo e Marina, que sempre me acompanham, pela paciência, dedicação, apoio e momentos de descanso.

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

dB	Decibel
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CONTRAM	Conselho Nacional de Trânsito
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
Hz	Hertz
Pa	Pascoal
TL	Perda por transmissão
EPI	Equipamento de proteção individual
PMMA	Poli(metacrilato de metila)
EDX	Energy dispersive X-ray Fluorescence - Fluorescência de raios X por energia dispersiva
IR / IV	Infrared spectroscopy - Espectroscopia de infravermelho
XRD/ DRX	X-ray diffraction – Difração de raios X
Z	Número atômico
u.a.	Unidade arbitrária

## LISTA DE FIGURAS E FLUXOGRAMAS

Figura 1 - Representação da propagação da onda sonora.....	9
Figura 2. Faixas de frequência do som.....	12
Figura 3 - Variação do volume com a amplitude da onda sonora. ....	12
Figura 4 - Forma da onda de um som sem ruídos. ....	13
Figura 5 - Forma da onda de um ruído. ....	13
Figura 6 - Interação da onda com meio receptor.....	15
Figura 7 - Fenômenos que ocorrem com ondas sonoras refletidas. ....	16
Figura 8 - Fenômenos que ocorrem com ondas em ambientes fechados....	16
Figura 9 - Procedimentos para isolamento acústico de ambientes. ....	20
Figura 10 - Esquema dos métodos de preparo de compósitos. ....	26
Figura 11 - Representação da estrutura do poli(metacrilato de metila). ....	27
Figura 12 - Imagem obtida pela câmera acústica. ....	30
Figura 13 - Representação do copolímero de metacrilato de metila e estireno.....	31
Figura 14 - Representação esquemática do procedimento de preparo dos compósitos com resina acrílica. ....	34
Figura 15 - Materiais comerciais avaliados como absorvedores sonoros: (a) lã de vidro, (b) lã de vidro com acabamento em PVC, (c) placa cimentícia e (d) borracha natural.....	37
Figura 16 - Espectro infravermelho da resina acrílica elastomérica. ....	39
Figura 17 - Curva termogravimétrica da amostra de resina acrílica elastomérica sem adição de carga.....	41
Figura 18 - Resina acrílica elastomérica sem adição de carga. ....	43
Figura 19 - Compósitos de resina acrílica elastomérica com microesferas de vidro oca nos teores (a) 1, (b) 5 e (c) 10% m m <sup>-1</sup> . ....	43
Figura 20 - Compósitos de resina acrílica elastomérica com microsílca nos teores (a) 1, (b) 5 e (c) 10% m m <sup>-1</sup> . ....	44
Figura 21 - Representação da dispersão e distribuição de aditivos em polímeros. ....	45

Figura 22 - Sobreposição dos espectros de IR dos compósitos com microesferas de vidro nos teores de (a) 1, (b) 5 e (c) 10 % m m <sup>-1</sup> .....	46
Figura 23 - Sobreposição dos espectros de IR dos compósitos com microsílca nos teores de (a) 1, (b) 5 e (c) 10 % m m <sup>-1</sup> . ....	47
Figura 24 - Espectro no infravermelho para amostras com adição de microesferas de vidro oca, sendo que A é a resina pura. ....	48
Figura 25 - Espectro no infravermelho para amostras com adição de microsílca, sendo que A é a resina pura. ....	49
Figura 26 - Difratoograma da amostra de resina acrílica elastomérica sem adição de carga. ....	51
Figura 27 - Difratoograma da amostra de resina acrílica elastomérica com microesfera oca, sendo (A) Resina acrílica pura. ....	52
Figura 28 - Difratoograma de raios X para as amostras com adição de microsílca. ....	53
Figura 29 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microesferas. ....	55
Figura 30 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microsílca. ....	57
Figura 31 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microsílca. ....	58

## LISTA DE TABELAS E QUADROS

Tabela 1 - Níveis sonoros para conforto e máximos para iniciar desconforto. .....	6
Tabela 2 - Níveis sonoros aceitos para áreas externas de acordo com o horário. ....	7
Tabela 3 - Exposição máxima permitida para níveis de ruído contínuo ou intermitente. ....	7
Tabela 4 - Valores de potência média para emissão sonora de diferentes fontes. ....	10
Tabela 5 - Características de materiais comerciais. ....	23
Tabela 6 - Propriedades das microesferas de vidro K15 da 3M. ....	32
Tabela 7 - Vantagens das aplicações das microesferas em diferentes setores. ....	32
Tabela 8 - Concentrações e composições das amostras preparadas. ....	33
Tabela 9 - Concentrações obtidas pela análise semiquantitativa de fluorescência de raios para as cargas. ....	38
Tabela 10 - Número de onda e tipo de vibração correspondente às bandas de transmitância. ....	40
Tabela 11 - Concentrações e composições das amostras preparadas. ....	41
Tabela 12 - Vibrações correspondentes às bandas de absorção da amostra de microesfera de vidro oca. ....	48
Tabela 13 - Números de onda das bandas que mudaram com a adição de microesferas de vidro oca. ....	49
Tabela 14 - Valores obtidos na análise da absorção sonora para as mostras com microesferas de vidro oca. ....	54
Tabela 15 - Valores obtidos na análise da absorção sonora para as mostras com microsíllica. ....	56
Tabela 16. Valores obtidos na análise da absorção sonora para as amostras comerciais. ....	57

## RESUMO

### AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE CARGA NAS PROPRIEDADES ACÚSTICAS DE PMMA E PU

MOREIRA, M. R.; CALADO C. R.

A avaliação do conforto acústico de ambientes é de grande importância para a qualidade de vida da população. Atualmente sua aplicação vai além de auditórios e teatros, e por isso, há um maior incentivo ao desenvolvimento de materiais e de métodos que reduzam a presença de ruídos. Foram avaliadas as propriedades acústicas da resina acrílica elastomérica com e sem adição das cargas de microesfera de vidro ocas (3M) e de microsíllica. Os compósitos formados com concentração de 1, 5 e 10 %m m<sup>-1</sup> das cargas foram caracterizados por EDX, em que verificou-se que a microesfera de vidro apresenta 45 %m m<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, enquanto a microsíllica possui 92 %. Empregando a Técnica IR observou-se que: a resina elastomérica consiste de um copolímero de PMMA e estireno, e a adição de carga altera as bandas vibracionais relativas ao estiramento C-H de CH<sub>2</sub> e ao C=C do anel aromático. Pelo DRX, foi possível avaliar o grau de cristalinidade da resina pura, que foi de 20%. Este valor sofre muito pouca alteração com a adição das cargas. Para os compósitos com microesferas de vidro oca houve alteração apenas na cristalinidade da amostra com 10 % m m<sup>-1</sup>, 23 %. Já os com microsíllica, houve aumento para a amostra de 1 % m m<sup>-1</sup>, 29 % e diminuição para as maiores concentrações, 26 % para 5 % m m<sup>-1</sup> e 20 % para % m m<sup>-1</sup>. Pela análise de TG observou-se que a resina acrílica elastomérica inicia sua decomposição na temperatura de 271,3 °C e ao atingir 900 °C não há mais massa relativa a amostra, o que indica ausência de materiais não voláteis ou orgânicos. Os fenômenos associados a estes processos não foram identificados, pois a resina é um produto comercial que contém aditivos, e os mesmos parecem interferir nos resultados obtidos. Em relação a propriedade de absorção sonora foram feitas medidas do nível de intensidade sonora das amostras sob incidência de ondas com frequências de 18,35; 23,12; 30,87 e 38,89 Hz empregando uma câmara acústica. Os resultados obtidos mostraram que a resina elastomérica sem adição de carga e os compósitos com microesferas de vidro oca conseguiram reduzir os níveis de intensidade nas quatro frequências analisadas, sendo portando as que apresentaram melhor desempenho. Os compósitos com microsíllica apresentaram pior resultados, pois a diminuição no nível da intensidade foi observada apenas no nível máximo para a frequência de 18,35 Hz com as amostras de 5 e 10 %m m<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** isolamento acústico, resina acrílica, carga.



# SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>i</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b> .....	<b>ii</b>
<b>LISTA DE FIGURAS E FLUXOGRAMAS</b> .....	<b>iii</b>
<b>LISTA DE TABELAS E QUADROS</b> .....	<b>v</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>vi</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>vii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Objetivos gerais</b> .....	<b>2</b>
<b>2.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>3</b>
<b>3.1. Breve histórico sobre a acústica</b> .....	<b>3</b>
<b>3.2. Normas de conforto acústico</b> .....	<b>5</b>
<b>3.3. O som e o ruído</b> .....	<b>8</b>
3.3.1. Conceitos fundamentais do som .....	8
3.3.2. Som como sensação .....	11
3.3.3. O ruído .....	13
3.3.4. A propagação do som .....	14
3.3.5. Transmissão do som .....	17
3.3.6. Absorção do som .....	18
<b>3.4. Isolamento acústico e controle do ruído e do som</b> .....	<b>19</b>
<b>3.5. Barreiras e materiais acústicos</b> .....	<b>22</b>
3.5.1. Polímeros no isolamento acústico .....	24
<b>3.6. Compósitos poliméricos</b> .....	<b>25</b>
<b>3.7. Resina acrílica elastomérica</b> .....	<b>27</b>
<b>3.8. Técnicas de caracterização</b> .....	<b>28</b>

3.8.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X .....	28
3.8.2. Espectroscopia na região do Infravermelho.....	29
3.8.3. Difração de raios x .....	29
3.8.4. Análise Termogravimétrica (TG) .....	29
3.8.5. Caracterização acústica .....	30
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Materiais.....</b>	<b>31</b>
<b>4.2. Procedimento de preparo dos compósitos .....</b>	<b>33</b>
<b>4.3. Técnicas empregadas na caracterização da matéria prima e dos compósitos .....</b>	<b>34</b>
4.3.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X .....	35
4.3.2. Espectroscopia na região do Infravermelho.....	35
4.3.3. Difração de raios x .....	36
4.3.4. Análise Termogravimétrica .....	36
4.3.5. Caracterização acústica .....	36
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>38</b>
<b>5.1. Caracterização da matéria prima .....</b>	<b>38</b>
5.1.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X .....	38
5.1.2. Espectroscopia na região do Infravermelho.....	39
5.1.3. Análise Termogravimétrica .....	40
<b>5.2. Caracterização dos compósitos .....</b>	<b>42</b>
5.2.1. Aspectos visuais.....	42
5.2.2. Espectroscopia na região do Infravermelho.....	45
5.2.3. Difração de raios X .....	50
5.2.4. Avaliação Sonora.....	54
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

# 1. INTRODUÇÃO

O Censo 2010 mostrou que no Brasil 84 % da população vive em áreas urbanas, este valor foi maior do que o do ano 2000, que na época foi de 81 % (IBGE, 2010). O deslocamento da população rural para as cidades proporciona um crescimento e desenvolvimento dos centros urbanos, e como consequência ocasiona aumento do número de veículos e de ruído. Isto faz com que a poluição sonora seja considerada uma das contaminações que atinge o maior número de pessoas, ficando atrás somente da poluição do ar e da água (FERREIRA; ZANNIN, 2007).

Muitas pesquisas já foram realizadas mundialmente com intuito de analisar os malefícios que esta poluição pode causar ao meio ambiente e à qualidade de vida da população (ZANNIN et al, 2002). Em 2011, a Comissão Europeia da Organização Mundial da Saúde publicou o trabalho "Burden of disease from environmental noise" (Carga de doenças causadas pelo ruído do ambiente). Esta publicação apresenta algumas relações entre a exposição ao ruído e a ocorrência de doenças, tais como: o aumento do risco de hipertensão devido a exposição aos ruídos do tráfego rodoviário e a redução da capacidade de desenvolvimento intelectual de crianças expostas a níveis acima de 95 dB (WHO, 2011).

Desta forma, cresce a necessidade da avaliação da qualidade e do conforto proporcionados pelas moradias, uma vez que estas contribuem para a satisfação e a qualidade de vida da população (MARTINS, 2008). A preocupação com a acústica deixa de ser restrita a auditórios e teatros para ser considerada necessária em outros tipos de construção. Esta necessidade incentiva a busca por materiais e métodos que levem a alcançar a redução dos sons indesejados (LAMOUNIER, 2008).

O projeto acústico envolve uma avaliação cuidadosa do ambiente onde será aplicado. Para realizar a escolha dos materiais e métodos de aplicação é de grande importância considerar o objetivo, se é corrigir, reduzir ou eliminar o ruído. A redução em excesso pode, por exemplo, impedir que um aluno escute o professor na sala de aula. Além disso, a escolha dos revestimentos deve considerar também a ocupação do

ambiente, a durabilidade do material, a sua estabilidade e a sua resistência ao fogo (CATAI et al, 2006).

Cada vez mais, nas últimas décadas, os polímeros têm sido utilizados pela Construção Civil. Sua aplicação varia de revestimentos de pavimentos, acabamento interno de paredes, canalizações, acessórios de iluminação a corrimãos. Devido a sua grande versatilidade de aplicações, ele permitiu a substituição de materiais como madeira, aço e concreto, fazendo com que este seja o segundo maior mercado para este tipo de material, perdendo apenas para as embalagens (HIPOLITO et al, 2013).

Muitos estudos têm sido realizados para a melhoria das propriedades acústicas de polímeros para a sua aplicação nos projetos de isolamento. Kim et al. (2013), Lee et al. (2008) e Liang e Jiang (2012) obtiveram como resultados que a adição das cargas de nanotubos de carbono, de nanopartículas de cálcio e de microesferas de vidro oca melhoraram as propriedades acústicas dos polímeros polipropileno e ABS.

Os resultados obtidos por estes autores mostra que a adição de cargas nos polímeros é uma pesquisa promissora para a melhoria das propriedades acústicas destes materiais. Portanto, o presente trabalho tem por objetivo avaliar as propriedades acústicas da resina acrílica elastomérica com a adição das cargas: microesferas de vidro ocas e microsílca.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivos gerais**

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da adição das cargas microesferas de vidro oca e microsílca nas propriedades acústicas da resina acrílica elastomérica.

## **2.2. Objetivos específicos**

Durante a realização deste trabalho, buscou-se avaliar os seguintes parâmetros:

- Composição dos materiais de partida.
- Estabilidade térmica da resina acrílica elastomérica.
- Efeito da adição das microesferas e da microsílca na estrutura do polímero e nas propriedades acústicas do material.

## **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Breve histórico sobre a acústica**

A acústica é o ramo da física que estuda os fenômenos associados ao som. Analisa a produção (fontes), a propagação (estudo do meio) e a recepção (ouvintes) das ondas sonoras (LAMOUNIER, 2008; SANTOS, 2013; MARTINS, 2008).

Os primeiros registros do estudo do som foram encontrados na Grécia Antiga. Pitágoras (século VI a.C.) foi um dos pioneiros na tentativa de teorização do som. Com base nos acordes produzidos pela vibração de cordas de diferentes comprimentos, a Escola pitagórica construiu a escala com quatro notas principais (hoje denominadas mi, fa, sol e do). Séculos depois, Aristóteles (século IV a.C.) tentou explicar o som como um movimento do ar causado pela fonte sonora. Outro testemunho do conhecimento dos gregos sobre a acústica é observado nos anfiteatros, eles construíam paredes refletoras na zona posterior do palco e reduziam o ruído ambiente (MARTINS, 2008; DONOSO, 2014).

Já no Renascimento, Leonardo da Vinci (1452 – 1519) constatou que a velocidade do som deveria ser finita devido as suas observações sobre o efeito dos ecos. Analisando este mesmo objeto de estudo, no século XVII,

Marin Mersenne (1588 – 1648) determinou a velocidade do som ao avaliar o tempo de retorno do eco. Nesta mesma época, Galileu Galilei (1564 – 1642), por meio do estudo do movimento oscilatório, verificou que a sensação de grave ou agudo relaciona-se diretamente com a frequência da onda sonora (MARTINS, 2008; DONOSO, 2014).

No século XII, foram formadas as academias científicas, onde pessoas se reuniam para discutir novos assuntos e resolver problemas formulados por outros estudiosos. Neste contexto, Robert Boyle (1627 – 1691) observou a necessidade de um meio físico para a propagação do som. Ao colocar seu relógio em um jarro sob vácuo, ele não conseguiu escutar as suas batidas (MARTINS, 2008; DONOSO, 2014).

Com o desenvolvimento da ciência dos sons, Joseph Sauveur (1653 – 1716) introduziu o termo Acústica, do Grego Akoustiké (Akoustike) que significa “relativo ao ouvido” (MARTINS, 2008).

No século XIX, foram realizados diversos experimentos com objetivo de estudar o efeito da propagação do som em diferentes meios. Jean-Baptiste Bio (1774 – 1862) realizou os primeiros experimentos para medir a velocidade do som em um meio de propagação sólido. August Kundt (1839 – 1899) mediu a velocidade no ar e em outros gases. E Charles Sturm (1803 – 1855) estudou a transmissão das ondas sonoras na água. Além destes estudos, também foram desenvolvidos equipamentos importantes para esta área: sirenes (dispositivo que emite avisos sonoros), estetoscópios (equipamento de amplificação de som que permite que médicos examinem pacientes sem contato direto), telefones (equipamento que transmite som através de longas distâncias), fonógrafos (equipamento para gravação e reprodução de sons) e microfones (equipamento que transforma ondas sonoras em sinais elétricos) (MARTINS, 2008).

Na transição do século XIX para o XX Wallace Sabine (1868 – 1919) desenvolveu estudos e projetos acústicos de auditórios e salas de músicas. Durante o projeto do Boston Symphony Hall, ele descobriu a Fórmula de Sabine, fórmula para o cálculo do tempo de reverberação (tempo que o som permanece audível) que é utilizada até hoje. Devido a suas contribuições, é conhecido como pai da acústica (MARTINS, 2008).

Atualmente a acústica é objeto de estudo de diversas áreas científicas, como Biologia, Medicina e Engenharia. A preocupação com o bem estar da população exposta diariamente a ruídos incentiva a avaliação médica de seus efeitos e a busca por novos materiais e métodos para controle acústico (MARTINS, 2008).

### **3.2. Normas de conforto acústico**

Visando o bem estar e a saúde pública, governos de vários países estabeleceram normas para o controle dos níveis de ruídos. Como estes sons são oriundos das atividades diárias, os critérios adotados variam com a finalidade do ambiente, o horário e o tempo de duração. Considerando estes fatores, foram determinados os limites de nível de pressão acústica aceitáveis (LAMOUNIER, 2008).

No Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) é o responsável pelo controle da poluição ambiental. Na sua resolução nº1, de 8 de março de 1990 ficou estabelecido que:

- A emissão de ruídos decorrentes de atividades industriais, comerciais, sociais ou recreativas deve obedecer aos níveis considerados aceitáveis pela norma NBR-10.151.
- O som produzido por execução de projetos de construção ou reformas não pode ultrapassar os valores apresentados pela NBR-10.152.
- A emissão produzida por automóveis e no interior do ambiente de trabalho deve seguir as normas expedidas, respectivamente, pelo Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN) e pelo Ministério do Trabalho (MTE).
- As medições dos níveis de ruído devem ser realizados de acordo com a NBR-10.151 (CONAMA, 1990).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) publicou duas normas para auxiliar na garantia do conforto acústico. Em 1987, a norma NBR-10.152, "Níveis de ruído para conforto acústico", determina os valores de ruídos aceitáveis e os máximos para não se atingir o desconforto, sendo

ainda aceitável para a atividade correspondente, tabela 1. No ano de 2000, a norma NBR-10.151, "Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade", especificou os métodos que devem ser utilizados para a medição do ruído, e os níveis que devem ser considerados para ambientes externos, tabela 2 (ABNT, 1987; ABNT, 2000).

**Tabela 1 - Níveis sonoros para conforto e máximos para iniciar desconforto.**

Ambiente		Nível para conforto	Nível máximo aceitável dB(A)
Hospitais	Apartamentos, Berçários	35	45
	Enfermagem e cirúrgicos	35	45
	Laboratórios	40	50
	Serviços	45	55
Escolas	Bibliotecas	35	45
	Salas de aula, laboratórios	40	50
	Circulação	45	55
Hotéis	Apartamentos	35	45
	Restaurantes	40	50
	Portaria, Recepção	45	55
Residências	Dormitórios	35	45
	Salas de estar	40	50
Auditórios	Salas de concertos, teatros	30	40
	Cinemas	35	45
Restaurantes		40	50
Escritórios	Salas de reunião	30	40
	Salas de administração	35	45
	Salas de computadores	45	65
	Salas de mecanografia	50	60
Igrejas e Templos		40	50
Locais fechados para esportes		45	60

Fonte: ABNT,1987.



**Tabela 2 - Níveis sonoros aceitos para áreas externas de acordo com o horário.**

Ambiente	Diurno	Noturno
	dB(A)	
Sítios e fazendas	40	35
Área residencial, urbana, de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista com predominância residencial	55	50
Área mista com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Fonte: ABNT,2000.

A exposição a ruídos oriundos do ambiente de trabalho é regularizada pela norma NR 15 do Ministério do Trabalho. Nela são determinados os limites de tolerância que correspondem à intensidade máxima, de acordo com a natureza e o tempo de exposição, que não causam danos à saúde do trabalhador. Atividades com ruído acima do permitido são classificadas como insalubres e exigem a utilização de equipamentos de proteção individual e medidas na tentativa de neutralização do som. Na tabela 3 estão apresentados os limites de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes que não sejam oriundos de impactos (MTE, 2011).

**Tabela 3 - Exposição máxima permitida para níveis de ruído contínuo ou intermitente.**

Nível de Ruído dB (A)	Máxima exposição diária permitida
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas

Continuação da tabela 3

Nível de Ruído dB (A)	Máxima exposição diária permitida
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 horas e 45 minutos
98	1 horas e 15 minutos
100	1 horas
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

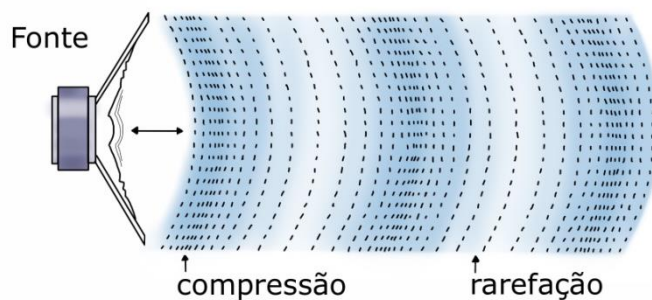
Fonte: MTE, 2011.

### **3.3. O som e o ruído**

#### **3.3.1. Conceitos fundamentais do som**

O som é uma onda mecânica e como tal precisa de um meio material que permita a sua propagação. Ao sofrer um estímulo sonoro, as partículas

do meio sofrem compressões e rarefações que vão sendo transmitidas de uma para outra, figura 1. Como o sentido de propagação é o mesmo que o de vibração, ela é classificada como longitudinal (LAMOUNIER, 2008; SANTOS 2013).



**Figura 1 - Representação da propagação da onda sonora.**

Fonte: WESTPHALL, 1956 *apud* PAULA, 2014 (Adaptado).

A propagação da onda sonora ocorre então com a oscilação das partículas que se movem de um lado para o outro em relação a um ponto central. Este movimento apresenta três importantes parâmetros. A amplitude corresponde à média das distâncias máximas que as partículas se afastam do centro. O número de oscilações completas em um segundo é a frequência (dada em Hertz, Hz, ou ciclos por segundo). O comprimento de onda é a distância que o som percorre durante o tempo correspondente a uma vibração completa. A relação entre o comprimento de onda " $\lambda$ ", a frequência " $f$ " e a velocidade " $v$ " da onda está representada na equação 1. Esta equação mostra que para uma mesma velocidade a frequência é inversamente proporcional ao comprimento de onda (SILVA, 1997; LAMOUNIER, 2008).

$$v = f \cdot \lambda \quad \text{Equação 1}$$

A velocidade do som depende da densidade do meio de propagação. Sua velocidade no ar, no nível do mar, é de aproximadamente  $340 \text{ m s}^{-1}$ , na água é de  $1,4 \text{ Km s}^{-1}$ , na madeira  $3,6 \text{ Km s}^{-1}$  e no aço cerca de  $5,5 \text{ Km s}^{-1}$  (SANTOS, 2013).

Os sons emitidos pelas fontes também apresentam uma potência, que corresponde à quantidade de energia fornecida por unidade de tempo (watt). Na tabela 4 estão apresentados alguns valores médios de potência do som emitido por diferentes fontes. Observa-se que os valores de instrumentos musicais e meios de transporte são bem superiores a voz humana (SILVA, 1997).

**Tabela 4 - Valores de potência média para emissão sonora de diferentes fontes.**

Fonte	Potência média (watt)
Voz de mulher	0,002
Voz de homem	0,004
Clarinete	0,05
Piano	0,27
Trombone	6,00
Orquestra	70,00
Automóvel a 70 km h <sup>-1</sup>	100,00
Avião a jato	10.000,00

Fonte: SILVA, 1997.

Com os valores de potência "W", pode-se calcular a intensidade sonora "I". Ela corresponde a quantidade de energia que atravessa um centímetro quadrado da área "S" perpendicular à direção de propagação do som, equação 2.

$$I = \frac{W}{S} \quad \text{Equação 2}$$

Para que a sensação de audição ocorra, além da frequência adequada, também é necessário que se tenha certa intensidade. O ouvido humano capta sons com pressão mínima de aproximadamente 20 μPa. Estes dois parâmetros se relacionam por meio da equação 3, sendo que "I" corresponde a intensidade sonora do objeto de interesse, "I<sub>0</sub>" a intensidade

sonora mínima audível (considerada  $10^{-12}$  watt  $\text{cm}^{-2}$ ), "P" a pressão acústica do objeto e "P<sub>0</sub>" a pressão mínima (SILVA, 1997; CHAVES, 2007).

$$\frac{I}{I_0} = \frac{P^2}{P_0^2} \quad \text{Equação 3}$$

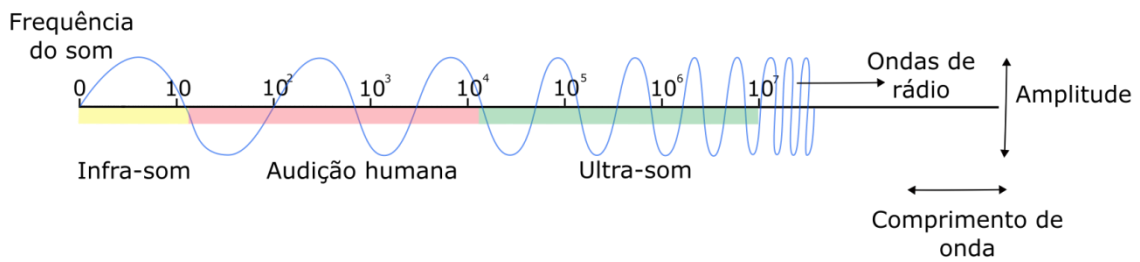
A forma como normalmente se avalia estes valores é pelo nível de intensidade/pressão sonora "N", dado em decibel (dB). Este parâmetro é calculado por meio da equação 4 (SILVA, 1997; CHAVES, 2007).

$$N = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{Equação 4}$$

Usualmente encontra-se o decibel ponderado, dB(A). Neste caso, utiliza-se uma escala para aproximar os níveis de pressão sonora do ouvido humano (LAMOUNIER, 2008).

### **3.3.2. Som como sensação**

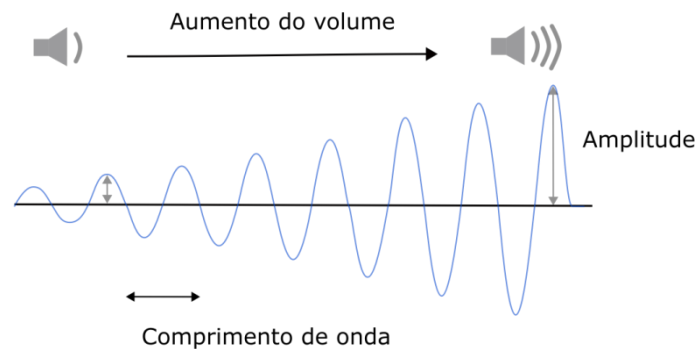
Além do conceito da física, o som também pode ser definido como a sensação causada pela interação da onda com os órgãos da audição (SANTOS 2013). A faixa de frequência em que é observada essa interação apresenta valores de 16 Hz a 20.000 Hz. Os sons compreendidos abaixo desta faixa são chamados infra-sons e os com frequência acima são os ultra-sons, representação na figura 2 (LAMOUNIER, 2008). Nesta figura, também se observa a variação do comprimento de onda com a frequência.



**Figura 2. Faixas de frequência do som.**

FONTE: MARTINES et al., 2000 (Adaptado).

O volume sonoro refere-se à forma como a sensação do som é recebida pelo ouvido. Ondas com maior amplitude proporcionam um maior volume, figura 3. Já a diminuição da frequência deixa um som mais grave e possui, para uma mesma velocidade, maior comprimento de onda (LAMOUNIER, 2008).



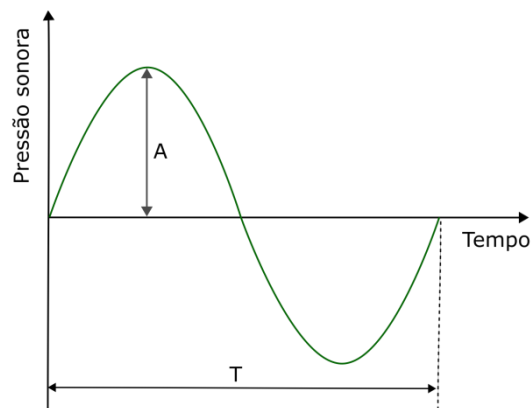
**Figura 3 - Variação do volume com a amplitude da onda sonora.**

Segundo Silva (2002 *apud* LAMOUNIER, 2008) o ouvido humano é mais sensível a variações de som de baixa frequência do que as de média e alta. Além disso, os danos causados pela exposição ao ruído não só depende do nível de amplitude, mas também da sua duração. Ao se expor a sons com alta amplitude e nível de pressão sonora acima de 100 dB(A) já é possível sentir mal estar. Quando este nível se aproxima de 140 dB(A) aproxima-se do limiar da dor com maior incômodo e possibilidade de romper o tímpano (LAMOUNIER, 2008).

Os efeitos do som ao corpo humano podem causar problemas físicos ou psicológicos (LAMOUNIER, 2008).

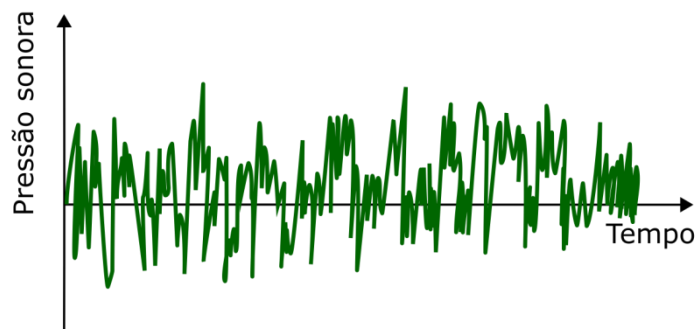
### 3.3.3. O ruído

O ruído pode ser classificado como fenômeno sonoro com características indefinidas de frequência. Na figura 4 observa-se o formato de uma onda proveniente de um som puro que apresenta apenas uma frequência de propagação, dada pelo tempo "T". Já o ruído possui uma faixa com variação da frequência, figura 5 (CATAI et al., 2006; LAMOUNIER, 2008).



**Figura 4 - Forma da onda de um som sem ruídos.**

FONTE: BISTAFA, 2006 *apud* LAMOUNIER, 2008 (Adaptado).



**Figura 5 - Forma da onda de um ruído.**

FONTE: BISTAFA, 2006 *apud* LAMOUNIER, 2008 (Adaptado).

Pode-se também definir ruído como sendo um estímulo auditivo que não contém informações para a tarefa em execução (CATAI et al., 2006). Já o barulho é considerado como qualquer som indesejável. Ambos resultam em um agrupamento de sons desordenados (LAMOUNIER, 2008).

Os ruídos podem ser classificados quanto a sua variação no tempo em:

- Contínuo: apresenta pequena variação no nível de pressão sonora no período em que é observado.
- Intermitente: o nível de pressão sonora varia bruscamente várias vezes durante sua ocorrência.
- De fundo: ruído que é captado mas não é proveniente da fonte analisada.
- Impulsivo: consiste de uma ou mais explosões de energia acústica, com durações menores que 1s cada (SANTOS, 2013).

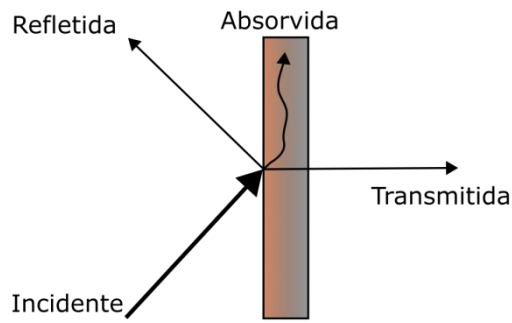
Os ruídos captados em ambientes internos podem ter suas fontes em atividades externas ou gerados pela própria edificação. A forma como ele deverá ser tratado depende do tipo da fonte, da forma de transmissão e da função do ambiente (SANTOS, 2013).

### **3.3.4. A propagação do som**

As fontes criam variações de pressão no ar com determinadas potências sonoras. À medida que o som se propaga, seu nível sonoro vai se atenuando. Dessa forma, quando uma pessoa fala em um campo aberto, com uma potência média de 4 mwatt, só será ouvido por receptores a um pouco mais de 10 m de distância (LAMOUNIER, 2008).

Quando a onda entra em contato com o meio receptor, ela se subdivide, uma parte é absorvida e outra é refletida. Da parte absorvida, uma fração se dissipa e a outra é transmitida através do material (LAMOUNIER, 2008).



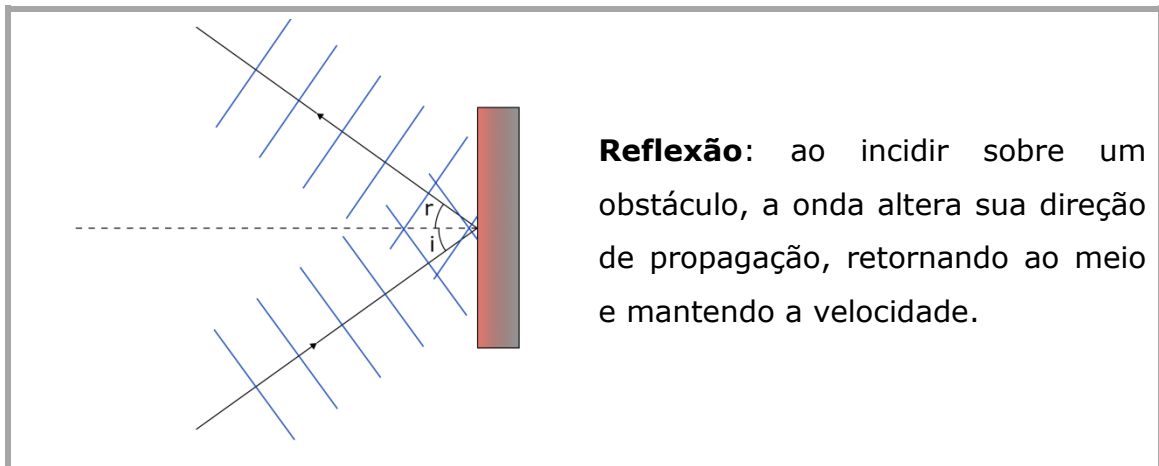


**Figura 6 - Interação da onda com meio receptor.**

FONTE: MARTINS, 2008 (Adaptado).

As ondas sonoras que são refletidas podem sofrer os fenômenos de difração, difusão/dispersão, refração e reflexão, na figura 7.

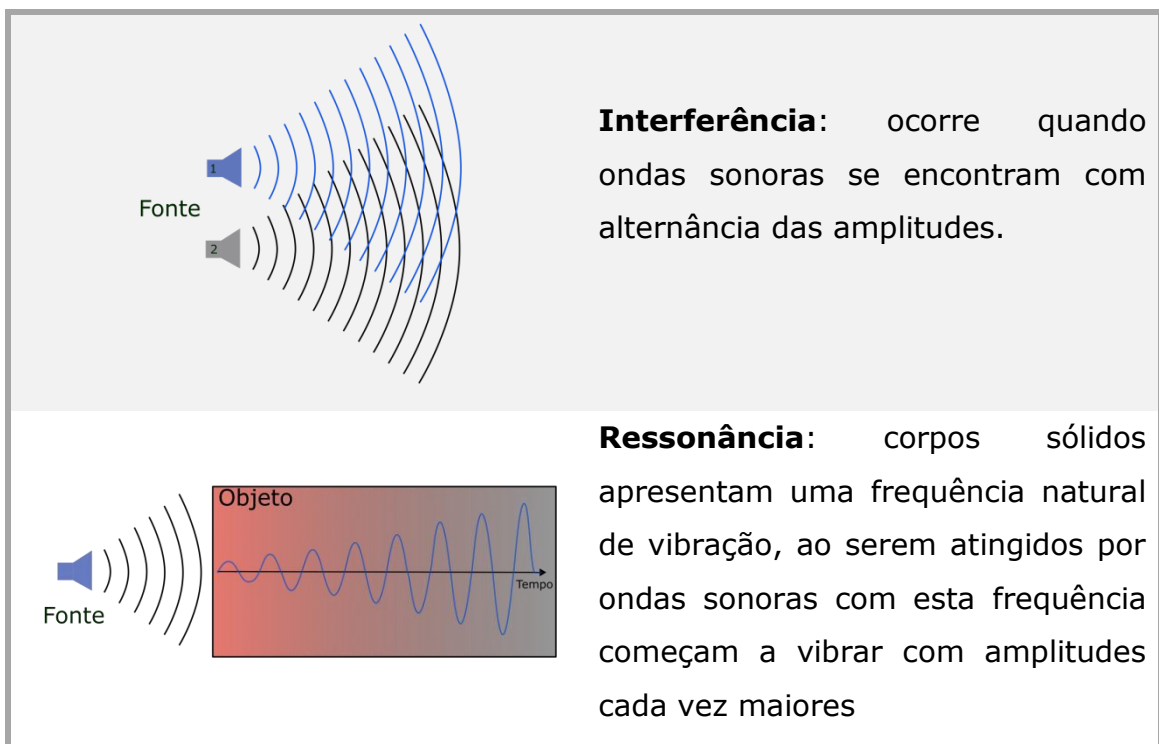
	<p><b>Difração:</b> ao encontrar um obstáculo ou orifício, a onda sonora o contorna, alterando sua direção de propagação. Para um mesmo obstáculo, quanto maior o comprimento de onda, maior a difração.</p>
	<p><b>Difusão/dispersão:</b> quando uma superfície apresenta o tamanho da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda, o som muda de direção de maneira aleatória.</p>
	<p><b>Refração:</b> quando a onda atravessa meios com diferentes índices de refração, a onda muda de velocidade e de direção de propagação.</p>



**Figura 7 - Fenômenos que ocorrem com ondas sonoras refletidas.**

FONTE: LAMOUNIER, 2008 (Adaptado).

Especificamente em ambientes fechados, também podem ocorrer os fenômenos de interferência e de ressonância, figura 8.



**Figura 8 - Fenômenos que ocorrem com ondas em ambientes fechados.**

FONTE: LAMOUNIER, 2008 (Adaptado).

Ao ar livre, o som se propaga de forma diferente do que em locais fechados. No primeiro caso, ao se propagar, o som vai sendo absorvido e

vai se atenuando até não poder mais ser ouvido. Já no ambiente fechado, ele é parcialmente absorvido e refletido pelos elementos ali presentes, como móveis e paredes (LAMOUNIER, 2008).

O eco ocorre quando um som de pequena duração reflete em uma grande área, sendo que, é possível distinguir o som original do refletido. Se não é possível diferenciar é porque ocorre reverberação. Quando a superfície é pelo menos quatro vezes maior que o comprimento de onda, ocorre a reflexão direcional, neste caso, o ângulo de incidência é igual ao de reflexão (LAMOUNIER, 2008).

### **3.3.5. Transmissão do som**

O som apresenta diferentes mecanismos de transmissão de acordo com a sua formação e com o meio:

- Transmissão por meio do ar: são produzidos no ambiente interno e é transmitido pelo ar até os receptores.
- Transmissão por impacto: ocorre quando o som é produzido pelo choque de elementos, sólidos ou líquidos, e é transmitido através destes e do ar até os ouvidos (LAMOUNIER, 2008).

Para se realizar um projeto de isolamento acústico é fundamental o conhecimento destes mecanismos, uma vez que a forma para controlá-los é diferente (LAMOUNIER, 2008).

A transmissão é fortemente influenciada pela densidade do meio. Quanto mais denso o material, menor será a transmissão, pois maior será sua resistência ao movimento, e, portanto mais isolante. Já em relação à rigidez, quanto mais rígido, mais o material transmite (LAMOUNIER, 2008).

Cada material possui um coeficiente de transmissão. A partir desta propriedade pode-se calcular a quantidade de decibels que o som reduz ao passar pelo meio, denominado perda por transmissão (TL). Quanto mais o material resiste ao movimento, maior a perda, que também aumenta com a frequência (LAMOUNIER, 2008).

### 3.3.6. Absorção do som

A propriedade de absorção de um material está relacionada à sua capacidade de dissipar a energia que incide sobre ele. Um dos métodos para a absorção é a transformação da energia mecânica em térmica (LAMOUNIER, 2008). Quando as ondas sonoras incidem sobre um material, o ar em seu interior entra em movimento oscilatório e atrita com suas paredes, transformando a energia em calor. Outro mecanismo é a vibração das moléculas do próprio material (MARTINS, 2008).

Dessa forma, um material será um bom absorvente quanto maior for a capacidade de movimentação das moléculas em seu interior. Fatores que influenciam nesta propriedade são: porosidade, densidade, espessura e frequência da onda. Além disso, outra característica importante é a elasticidade (capacidade de voltar a forma original quando a força deixa de agir), que permite o armazenamento de energia mecânica vibracional (LAMOUNIER, 2008).

Materiais que são ruins absorventes permitem que ocorra refração, e se o material for suficientemente fino, permitirá que a onda o atravesse, fenômeno de transmissão. Quanto mais rígido e pesado, mais isolante e quanto mais polida a superfície, mais refletora ela é (LAMOUNIER, 2008).

A quantidade de energia sonora que penetra no material determina os coeficientes de absorção (LAMOUNIER, 2008).

Ao analisar a interação da interface da onda com a matéria pode-se considerar que tanto a energia que é convertida em calor, quanto a que atravessa o material foram dissipadas. Então estes dois mecanismos podem ser considerados métodos de absorção, uma vez que a energia não é refletida (MARTINS, 2008).

A soma das energias que são refletidas " $E_r$ ", absorvidas " $E_a$ " e transmitidas " $E_t$ " corresponde ao que incidiu sobre o material " $E_i$ ", equação 5 (MARTINS, 2008).

$$E_i = E_r + E_a + E_t$$

Equação 5

Ao combinar a energia absorvida com a transmitida e dividir a equação 5 por  $E_i$ , é obtida a equação 6 (MARTINS, 2008).

$$1 = \frac{E_r}{E_i} + \frac{E_t + E_a}{E_i} \quad \text{Equação 6}$$

A primeira fração da energia da equação 6 é chamada de coeficiente de reflexão, " $a_r$ ", e a segunda de absorção sonora, " $a_\theta$ ". Com a substituição destes elementos na equação 6 é obtida a equação 7 (MARTINS, 2008).

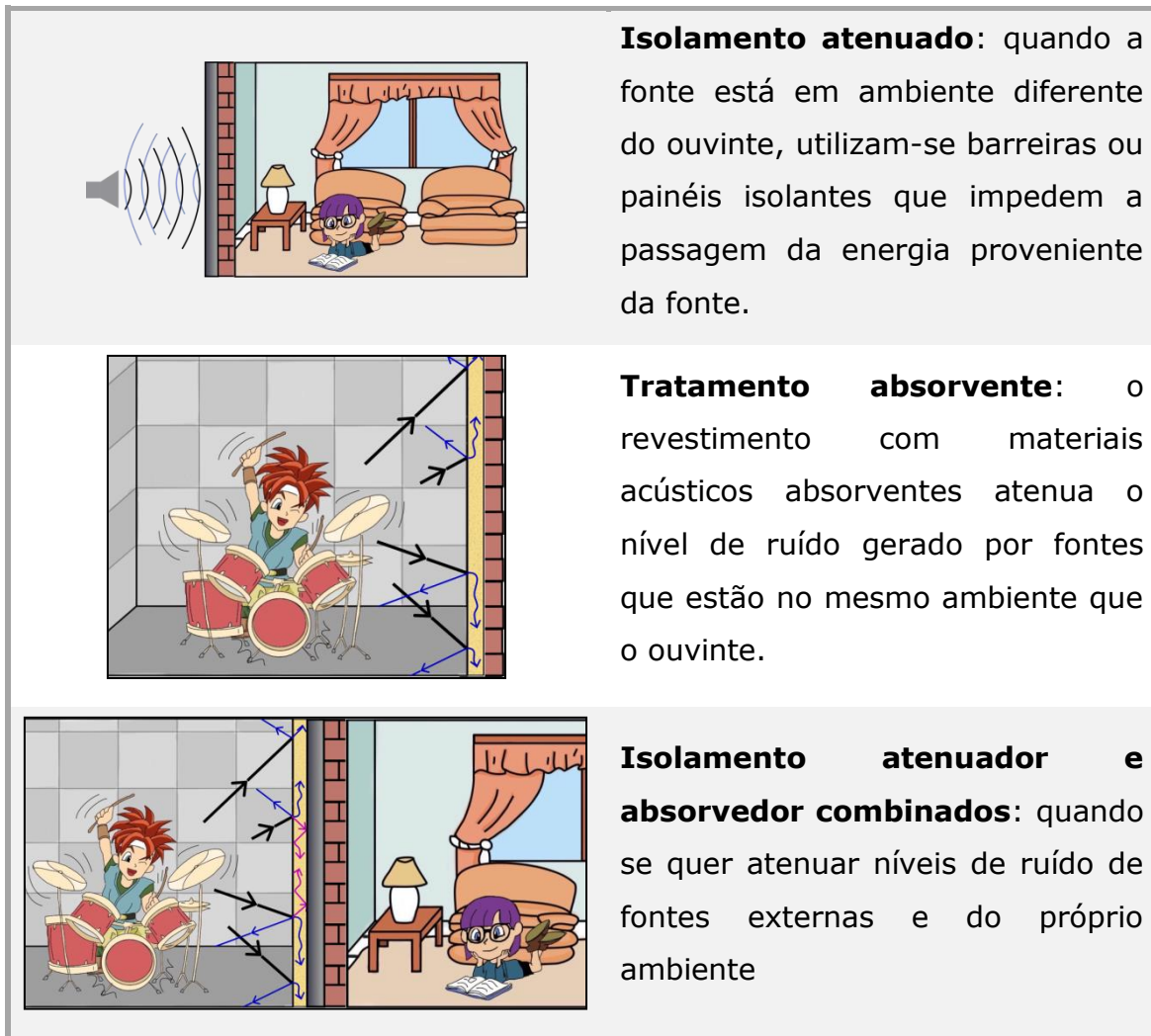
$$a_r = \frac{E_r}{E_i} \quad a_\theta = \frac{E_t + E_a}{E_i}$$

$$1 = a_r + a_\theta \quad \text{Equação 7}$$

Os coeficientes variam seus valores de 0 a 1. Se um material apresenta coeficiente de absorção de 0,20, por exemplo, isto significa que ele absorve 20 % da energia que incide sobre ele e os 80 % restantes são refletidos (MARTINS, 2008).

### **3.4. Isolamento acústico e controle do ruído e do som**

Em edificações o isolamento acústico é de extrema importância para o controle de ruído. Com ele minimiza-se a passagem de sons de um ambiente para o outro. Ao se realizar um tratamento acústico, são feitos procedimentos que reduzem o nível de energia sonora que se propaga da fonte ao receptor. Estes procedimentos podem ser classificados nos três grupos apresentados na figura 9.



**Figura 9 - Procedimentos para isolamento acústico de ambientes.**

FONTE: LAMOUNIER, 2008 (Adaptado).

Outro método utiliza de materiais chamados "sandwiches". Eles são formados pela mistura entre um material leve e outro rígido e ainda um material poroso ou resiliente (retorna a forma original quando retira a carga que provocou deformação). Com isso, o nível de ruído é atenuado pela dissipação da energia nos poros do material antes que ela seja refletida ou transmitida (LAMOUNIER, 2008).

Todos os materiais apresentam propriedades de isolar ou absorver ondas sonoras. Quando se tem uma grande capacidade de isolamento, quase não se tem poder de absorção, e vice-versa. Materiais mais leves e com fibras ou poros são mais absorventes. Já os mais densos, compactos e rígidos são mais isolantes. Outros materiais ainda têm tanto baixo poder de isolamento quanto de absorção, como, por exemplo, plásticos leves e

impermeáveis com baixa densidade e sem poros abertos (LAMOUNIER, 2008).

Difícilmente um material será capaz de resolver todos os problemas acústicos, por isso cada projeto deve ser elaborado considerando as exigências de cada ambiente. Deve-se considerar as características do som e da obra arquitetônica, decorativas, estéticas e funcionais. O material deverá apresentar a característica necessária para corrigir, reduzir ou eliminar os ruídos (LAMOUNIER, 2008).

Para reduzir a transmissão sonora, podem-se utilizar isolantes ou absorventes. Os isolantes evitam que o ruído passe de um ambiente para outro, mas também pode fazer com que seja refletido e cause reverberação. Já os absorventes reduzem a transmissão e reflexão entre ambientes. Em paredes este fator pode ser controlado fazendo-a dupla com separação preenchida com ar. Com espaço interno suficiente, elas passam a se comportar como paredes distintas e a TL total é próximo da soma dos valores individuais. Paredes e tetos devem apresentar aproximadamente a mesma perda por transmissão (LAMOUNIER, 2008).

Paredes maciças de concreto atuam com altos índices de redução sonora e de reflexão sonora. Dependendo da forma como elas atuam podem ter importante participação no projeto acústico (LAMOUNIER, 2008).

Para que o isolamento seja efetivo, não devem ocorrer rachaduras ou aberturas, pois mesmo que pequenas, elas permitem que o som atravesse.

Em ambientes que se produz sons, como de *home theater* e instrumentos musicais, pode-se utilizar materiais absorvedores que evitam a reflexão excessiva das ondas sonoras, diminuindo o nível de reverberação. Neste caso, é interessante, além de diminuir o nível de pressão sonora, melhorar o índice de articulação. Entretanto, não deve-se eliminar totalmente a reverberação, pois esta impede a inteligibilidade (LAMOUNIER, 2008).

### 3.5. Barreiras e materiais acústicos

No isolamento acústico os materiais utilizados podem ser classificados em convencionais e não convencionais:

- Convencionais: materiais de uso comum da construção civil para vedação. Apresentam isolamento razoável para uso comum. Exemplos: blocos cerâmicos, blocos de concreto, madeira e vidro.
- Não convencionais: materiais desenvolvidos especificamente para o isolamento acústico. Geralmente apresentam propriedades de isolamento térmico. Exemplos: lã de vidro, lã de rocha, vermiculita e polímeros elastoméricos (CATAI et al., 2006).

Quanto às propriedades, os materiais podem ser divididos em absorventes, difusores, reflectores ou isolantes.

- Absorventes: têm grandes coeficientes de absorção. Não deixam o som passar de um ambiente para outro e evitam ecos. Exemplos: lã de vidro, manta de poliuretano, madeira aglomerada, carpetes grossos e cortinas pesadas.
- Difusores: materiais refletores com superfície irregular, eles refletem o som de forma difusa sem ressonâncias. Exemplo: pedras.
- Isolantes: não deixa o som passar de um ambiente para o outro. Exemplos: Tijolo maciço, pedra lisa, concreto, gesso, madeira e vidro com espessura mínima de 6 mm.
- Refletores: aumentam a reverberação do som. Podem ser isolantes. Exemplos: azulejos, cerâmica, pedras lisas, massa corrida, madeira e papel de parede (LAMOUNIER, 2008).

Já quanto a frequência em que estes materiais podem absorver, eles podem ser classificados em: texturados, membranas ressonantes, e ressoadores de cavidade.

- Materiais texturados: absorvem energia sonora com altas frequências. Apresentam poros e pequenos interstícios que comunicam entre si e permitem a permeabilidade e propagação das ondas.



- Membranas ressoantes: absorvem ondas sonoras com baixas frequências. Além da porosidade, a absorção é devido a vibração do próprio sistema. São denominados painéis vibrantes.
- Ressonadores de cavidade: absorvem uma faixa reduzida de frequências, denominadas frequências médias. Possuem um conjunto de cavidades com paredes rígidas e abertura estreita. A absorção ocorre pela vibração e pela geração de calor devido ao atrito. Pode-se ainda introduzir materiais absorventes no interior das cavidades (MARTINS, 2008).

Segundo Silva (2002 *apud* LAMOUNIER, 2008) as características mais interessantes que devem ser avaliadas na escolha de um material, além de sua função acústica são: aparência, resistência ao fogo, resistência mecânica, facilidade de montagem e isolamento térmico.

Alguns exemplos de materiais disponíveis comercialmente para aplicação nos projetos acústicos foram apresentados na tabela 5.

**Tabela 5 - Características de materiais comerciais.**

Material	Constituição	Características
Lã de vidro	Aglomerado de sílica e sódio em resinas sintéticas	Leveza, fácil manipulação, não combustível, não deteriora, não favorece proliferação de microrganismos. Necessita utilizar EPI na sua manipulação, pois é prejudicial ao contato.
Lã de rocha	Aglomerado de fibras de basalto por resina sintética	Não combustível, não corrosivo, não deteriora, não favorece proliferação de microrganismos, pode ser utilizada em locais com temperaturas de 50 a 750 °C. Necessita do uso de EPI na manipulação
Vermiculita	Aluminossilicato hidratado de ferro e magnésio.	Baixa densidade (de 80 a 120 Kg m <sup>-3</sup> ), baixa condutibilidade, incomburente, insolúvel em água, não tóxica, não abrasiva, inodora, não deteriora.
Fibra de coco	Mistura de fibra de coco com cortiças expandidas	Absorve ondas de baixa frequência, é resistente e durável.

Continuação da tabela 5

Material	Constituição	Características
Gesso acartonado (drywall)	Combinação de estruturas de aço galvanizado com placas de gesso revestidas com folhas de papelão.	Permite a introdução de lã mineral em seu interior, estrutura leve e de menor espessura que estruturas de alvenaria, é desmontável. Baixa resistência mecânica quando comparado às construções de alvenaria
Espumas elastoméricas	Poliuretano e poliéster	Auto-extinguível, pode ser tratado com retardante a chama para melhorar as propriedades quanto segurança ao fogo, está protegida contra fungos e mofos.

Fonte: CATAI et al., 2006.

### 3.5.1. Polímeros no isolamento acústico

Segundo Yan et al. (2014), muitos estudos têm sido realizados com o objetivo de reduzir a poluição sonora por meio do uso de compósitos de policloreto de vinila e de polipropileno. As vantagens destes polímeros são: alto desempenho na absorção, leveza e baixo custo (YAN et al., 2014). Em seu trabalho, Yan et al. avaliou as propriedades acústicas de compósitos de argila em polipropileno nas concentrações de 0,9; 2,9; 4,8; 6,5; 8,2 e 9,9 %m m<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos indicaram que os compósitos de 29 mm de diâmetro com 6,5 % de argila melhoraram na absorção do som em torno de 1-14 dB, em relação ao polipropileno sem argila e na frequência de 3200-6400 Hz. Já as amostras com essa concentração e na espessura de 100 mm reduziram 3,3-5,3 dB a mais em relação ao polipropileno puro na frequência de 520-640 Hz (YAN et al., 2014).

Outro método bastante estudado tem sido a adição de nanopartículas nos polímeros para aplicação em isolamento acústico. Segundo KIM et al. (2013), com esta adição são obtidas grandes melhorias nas propriedades dos materiais com preparos relativamente simples. Em seu trabalho foram analisados os efeitos da adição de nanotubos de carbono nas concentrações de 0,1; 0,5 e 0,7 %m m<sup>-1</sup> nos compósitos de argila em polipropileno. Em seus resultados observou-se que a adição dos nanotubos melhorou a

absorção do som em relação ao polipropileno puro em todas as frequências analisadas (520-6400 Hz). Sendo que, o melhor resultado foi obtido para a amostra com 4,8 % de argila e 0,5 % de nanotubo, ela aumentou a absorção em 15-21 dB para a frequência de 3200-6400 Hz e em 8-14 dB para 580-620 Hz (KIM et al., 2013).

Lee et al. (2008) também analisou o efeito da adição de nanotubos de carbono na propriedade acústica, mas utilizando o copolímero ABS (acrilonitrila butadieno estireno). Eles realizaram a adição de cargas nas concentrações de 5, 10 e 15 % v v<sup>-1</sup>. Os resultados indicaram que o aumento na concentração de nanotubos aumentou a absorção nas frequências analisadas, de 1000 a 6000 Hz (LEE et al., 2008).

No trabalho realizado por Liang e Jiang (2012) foram analisados os efeitos da adição de nanopartículas de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) e microesferas de vidro oca na propriedade de absorção sonora do polipropileno. As concentrações utilizadas foram de 0,5; 1,0; 1,5 e 3,0 %v v<sup>-1</sup> de CaCO<sub>3</sub> e 5 e 15 %v v<sup>-1</sup> de microesferas e a absorção foi avaliada nas frequências de 125 a 10.000 Hz. Os resultados indicaram que o aumento da concentração de CaCO<sub>3</sub> e de microesferas aumenta a absorção sonora, mas de forma não linear. Comparando os valores obtidos com as duas cargas observou-se que a absorção dos materiais com adição de microesferas foram melhores do que com o carbonato, para mesmas frequências. Os autores associaram este resultado à presença do gás no interior das microesferas (LIANG; JIANG, 2012).

Os resultados obtidos por estes estudos mostram que a adição de cargas nos polímeros é uma direção de pesquisa promissora para a melhoria das propriedades acústicas de materiais.

### **3.6. Compósitos poliméricos**

Os polímeros apresentam uma grande variedade de finalidades técnicas que dependem de propriedades específicas, como flexibilidade, estabilidade térmica e biodegradabilidade. Para se atingir as necessidades de aplicação, os polímeros podem ter suas propriedades alteradas por meio

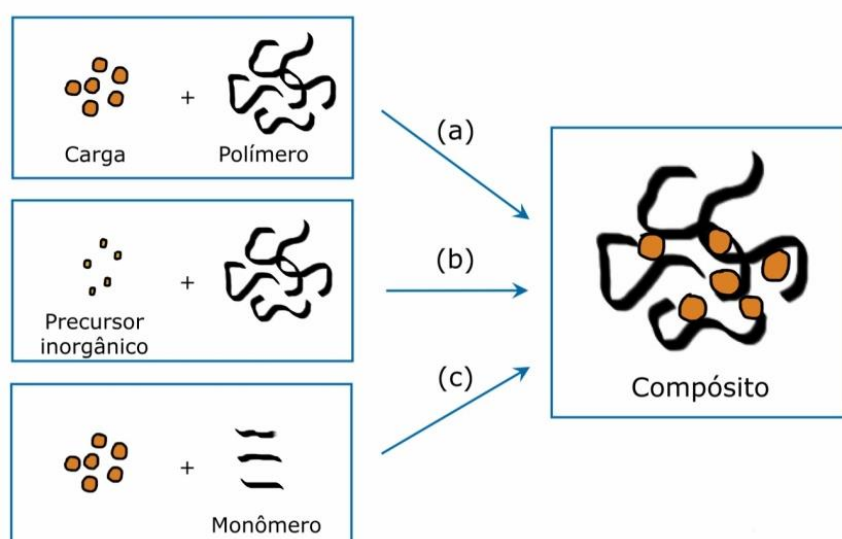
da formação de blends (mistura formada entre polímeros diferentes) ou de compósitos (formação de uma mistura entre o polímero e outro material) (DOURADO, 2008).

Os compósitos constituem-se de dois ou mais materiais que se misturam formando mais de uma fase. A contínua, chamada de matriz, envolve a outra fase, chamada de dispersa. Resultando desta mistura é obtido um material cujas propriedades dependem das características de seus constituintes, da proporção entre eles, da distribuição das fases e das interações interfaciais entre elas (SILVA, 2013).

Em polímeros a formação de compósitos pode ser realizada pela adição, por exemplo, de cargas ou de fibras. As cargas são aditivos sólidos e insolúveis adicionados com o objetivo de reduzir custos e/ou alterar propriedades químicas, físicas e mecânicas (SILVA, 2013; RABELLO, 2000).

A incorporação das cargas inorgânicas pode proporcionar a melhoria, por exemplo, das propriedades magnéticas, elétricas, ópticas, resistência mecânica e estabilidade térmica em relação ao polímero puro.

O preparo dos compósitos pode ser realizado basicamente por meio de três métodos: (a) mistura simples dos componentes (*blending method*), (b) síntese das partículas inorgânicas *in situ* (método sol-gel) e (c) polimerização da matriz *in situ*, figura 10 (Esteves et al. 2004 *Apud* DOURADO, 2008).



**Figura 10 - Esquema dos métodos de preparo de compósitos.**

Fonte: Esteves et al. 2004 *Apud* DOURADO, 2008

O procedimento de mistura simples é muito utilizado devido a sua versatilidade, eficiência e facilidade operacional, podendo ser realizado por técnicas de processamento convencionais como extrusão e injeção. Já os processos *in situ*, permitem um maior controle sobre as propriedades da matriz, sendo mais fácil a dispersão homogênea das cargas (SILVA, 2013).

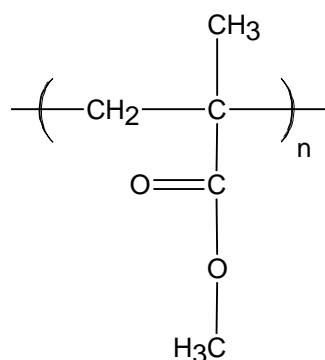
O preparo dos compósitos deste trabalho foi realizado pelo procedimento de mistura simples.

### 3.7. Resina acrílica elastomérica

Os polímeros podem ser classificados de acordo com o seu comportamento mecânico. Quando ele é sólido à temperatura ambiente, é denominado plástico. Já, se nesta temperatura ele deforma-se e tem a capacidade de retornar ao estado original ao cessar a força, ele é denominado elastomérico (JUNIOR, 2006).

Os polímeros elastoméricos apresentam esta capacidade elástica devido a flexibilidade de suas cadeias. Elas ficam emaranhadas, constituindo uma fase amorfa, e apresentam poucas ligações entre elas. Dessa forma, o material deforma no mínimo duas vezes seu comprimento inicial (JUNIOR, 2006).

A resina acrílica apresenta como principal componente o poli(metacrilato de metila) (PMMA), estrutura representada na figura 11. Sozinho, este polímero é um material termoplástico, rígido e transparente (SILVA, 2013).



**Figura 11 - Representação da estrutura do poli(metacrilato de metila).**

Para que a resina apresente um comportamento elastomérico é necessário que na formação do polímero seja acrescentado mais um monômero, formando assim um copolímero. Para a produção de PMMA os principais monômeros utilizados são acrilatos de alquila com cadeias de até oito carbonos. No elastômero, este monômero constitui de 60 a 99 % da estrutura polimérica. O restante da estrutura é composta de monômeros como ácido acrílico, metacrilato de glicidila ou acrilatos de alcóxiálquila. As propriedades da resina final dependem da estrutura da cadeia final (CELESTINO, 2007).

No geral, as resinas acrílicas elastoméricas comerciais apresentam resistência a baixas temperaturas. Esta resistência é determinada pela composição dos ésteres acrílicos, o que também define a resistência a ácidos graxos e a hidrocarbonetos alifáticos. Segundo Celestino (2007), quanto menor a temperatura de transição vítrea, menor a resistência a altas temperaturas e aos ácidos e hidrocarbonetos (CELESTINO, 2007).

A temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , corresponde ao ponto em que ao realizar o resfriamento as cadeias poliméricas da fase amorfa mudam de conformação, resultando em um material duro, rígido e quebradiço. Acima deste ponto as cadeias apresentam mobilidade e o material apresenta maior elasticidade (JUNIOR, 2006). As resinas acrílicas elastoméricas disponíveis comercialmente apresentam  $T_g$  de  $-40$  a  $-15$  °C (CELESTINO, 2007).

## **3.8. Técnicas de caracterização**

### **3.8.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X**

A Fluorescência de raios X, EDX, consiste na indução de transições eletrônicas por meio da incidência de raios X na amostra. Estas transições resultam em emissões de radiação com energia característica, que dependem da espécie atômica envolvida. Elementos com número atômico ( $Z$ ) baixo, como H, O, C e Na emitem uma baixa energia e, por isso, apresentam baixa sensibilidade de detecção. Dessa forma, a técnica é

usualmente utilizada para identificar a composição elementar e a abundância de substâncias com número atômico acima de 11. (FERRETTI, 2009; CALZA, 2007).

### **3.8.2. Espectroscopia na região do Infravermelho**

A espectroscopia na região do infravermelho, IR, consiste na absorção de radiação eletromagnética pela matéria. Esta radiação contida na faixa de 14.290 a 200  $\text{cm}^{-1}$  promove nas moléculas vibrações com alteração do momento de dipolo. Estes estados vibracionais podem estar associados a deformações axiais e angulares ou a estiramentos simétricos e assimétricos. Como a energia em que ocorrem as vibrações dependem dos átomos e das ligações que constituem as moléculas, esta análise fornece informação sobre os grupos funcionais presentes (JUNIOR, 2003).

### **3.8.3. Difração de raios x**

A difração de raios X, DRX, é uma importante técnica não destrutiva de caracterização de materiais. Para que as ondas eletromagnéticas sofram a difração ao entrar em contato com um material, é necessário que a radiação incidente apresente comprimento de onda da mesma ordem de grandeza do espaçamento interatômico (BRAUN, 1994; FANTINI, 2014). O difratograma obtido permite então, conhecer o arranjo atômico do cristal, sua simetria e distância, permitindo determinar a cela unitária. Sendo este um resultado característico do material, ele serve para auxiliar na sua identificação e elucidação estrutural (FANTINI, 2014).

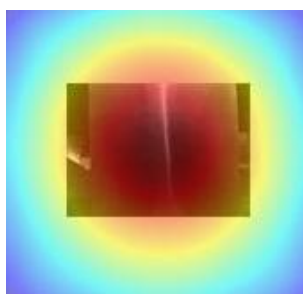
### **3.8.4. Análise Termogravimétrica (TG)**

A análise termogravimétrica, TG, consiste na medida de massa de uma amostra durante uma programação controlada de temperatura. Com o

gráfico, uma curva de variação de massa em função da temperatura, pode-se observar as alterações que o aquecimento provoca na amostra em relação a sua composição. A análise dos resultados permite uma determinação quantitativa de: pureza, estabilidade térmica, presença de água ou outros solventes, além da informação sobre compostos gerados durante a decomposição (JUNIOR, 2003).

### **3.8.5. Caracterização acústica**

A análise da capacidade de absorção sonora foi avaliada utilizando uma câmera acústica portátil. Seu funcionamento baseia-se na recepção da onda sonora emitida por uma fonte após a passagem pelo material a ser analisado. O equipamento obtém uma imagem com os níveis de pressão sonora do material, representação na figura 12 (coloração vermelha indica maiores níveis e azul menores). Dessa forma, obtêm-se os valores médios da intensidade que atravessou o material.



**Figura 12 - Imagem obtida pela câmera acústica.**



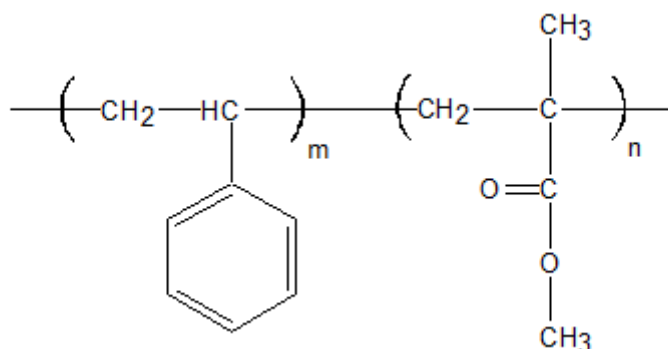
## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

Uma das características importantes em materiais absorventes é a capacidade de armazenar energia mecânica vibracional por meio da vibração das moléculas do próprio material (LAMOUNIER, 2008). Nos polímeros, esta propriedade é observada nos materiais elastoméricos. Baseando-se nesta condição, o material selecionado neste trabalho como material absorvente foi uma resina acrílica elastomérica AQ 1631 da *Águia Química*.

O comportamento frente à absorção de ondas sonoras foi avaliado mediante a aditivação deste polímero. Os materiais utilizados foram as microesferas de vidro oca modelo K15 da 3M e a microsílica da *Minasligas*.

A resina acrílica elastomérica AQ 1631 da *Águia Química* consiste em uma emulsão do copolímero de acrilato de alquila com estireno, estrutura representada na figura 13. O estireno é empregado para melhorar a propriedade mecânica, em termos de flexibilidade, do polímero.



**Figura 13 - Representação do copolímero de metacrilato de metila e estireno.**

Segundo o fabricante ela pode ser aplicada em texturas, massas e vedantes de alta flexibilidade, tintas emborrachadas, impermeabilizantes, tintas anti-ruído e calor para telhados de cimento amianto (ÁGUIA QUÍMICA, 2013).

Uma das cargas utilizadas para aditivar a resina foi a microesfera de vidro K15 da 3M, de acordo com o fabricante ela apresenta as propriedades apresentadas na tabela 6.

**Tabela 6 - Propriedades das microesferas de vidro K15 da 3M.**

Propriedade	Característica
Forma	Microesferas ocas de parede fina
Composição	Borosilicato de sódio e cálcio
Cor	Branca
Resistência a compressão	300 psi
Densidade real	0,15 g cm <sup>-3</sup>
Tamanho de partícula min-max	30 – 115 microm
Condutividade térmica	0,055 W mK <sup>-1</sup>
Constante dielétrica	1,2 - 1,7
Estabilidade térmica	600 °C

Fonte: 3M, 2014.

Estas esferas são apresentadas pela 3M como uma alternativa aos aditivos de carga convencionais como sílica, carbonato de cálcio, talco e argila. Devido a sua baixa densidade e boa estabilidade química, podem ser utilizadas para redução do peso e do custo de materiais (3M, 2014).

Na tabela 7 estão apresentadas algumas vantagens da aplicação das microesferas de vidro.

**Tabela 7 - Vantagens das aplicações das microesferas em diferentes setores.**

Aplicação	Vantagem
Tintas e revestimentos	Reduz o peso, demanda menos resina para isolamento térmico de materiais
Massa corrida	Diminui o tempo de secagem, evita contaminação e inchamento do produto.
Segmento automotivo	Reduz o peso de peças e adesivos

Continuação da tabela 7

Aplicação	Vantagem
Segmento de mineração	Aumenta o poder de detonação de explosivos.
Segmento petroquímico	Reduz a densidade de fluidos de perfuração. Auxilia no isolamento térmico quando aplicado a revestimentos de tubulações.
Segmento eletrônico	Reduz constante dielétrica em placas de circuito.
Polímeros	Reduz à densidade do material mantendo alta resistência a compressão.

Fonte: 3M, 2014.

A outra carga utilizada foi a microsílca da *Minasligas* que constitui de esferas amorfas de sílica,  $\text{SiO}_2$ , obtidas na referida empresa como resíduo no processo de produção do ferro silício e do silício metálico (MINASLIGAS, 2014).

## 4.2. Procedimento de preparo dos compósitos

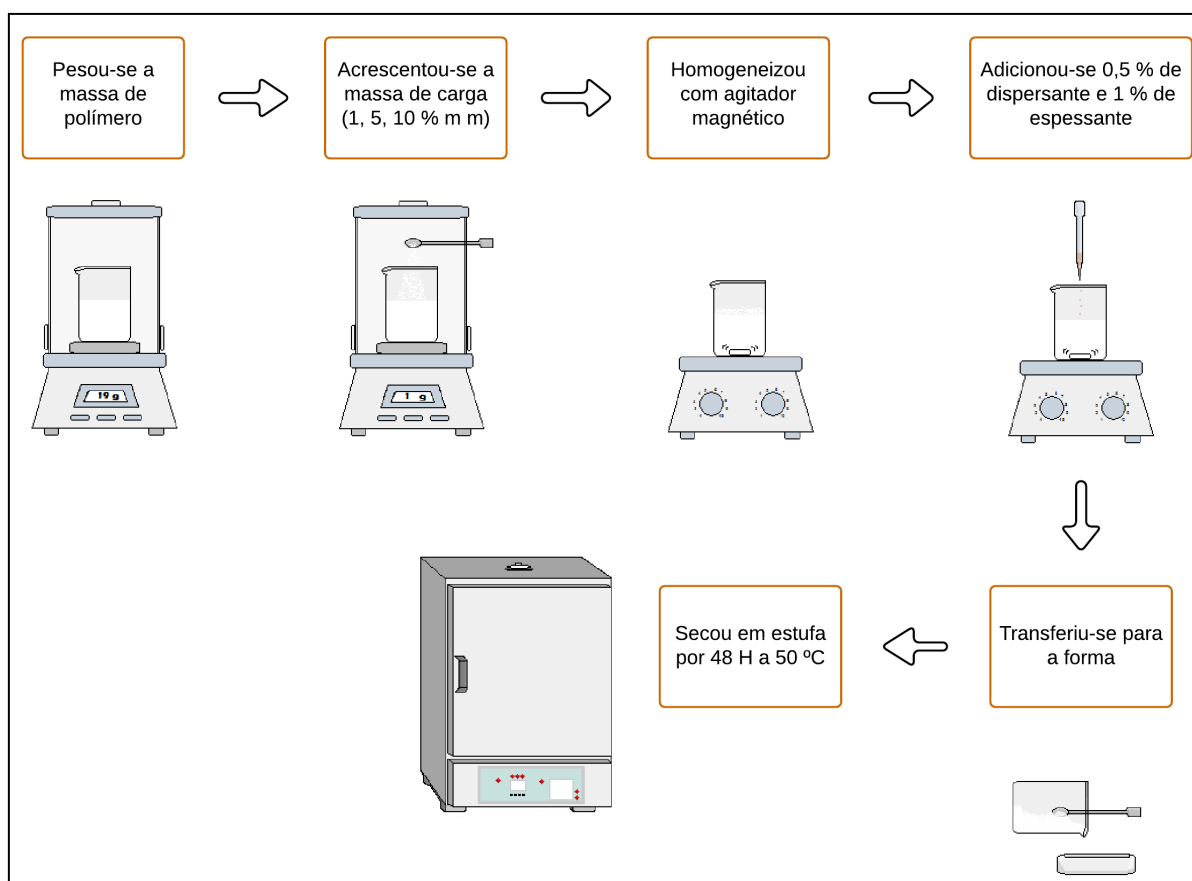
Para a análise do efeito das cargas na resina acrílica elastomérica, foram preparados corpos de prova de 20 g e 100 g contendo 1 %, 5 % e 10 % em peso de carga. Na tabela 8 estão apresentados os códigos utilizados para a identificação das amostras, suas composições e teores de carga.

**Tabela 8 - Concentrações e composições das amostras preparadas.**

Polímero	Carga	Teores de carga (% m m <sup>-1</sup> )	Identificação da amostra
Resina acrílica elastomérica	Microesfera de vidro oca	1	A 1% 3M
		5	A 5% 3M
		10	A 10% 3M
	Microsílca	1	A 1% D
		5	A 5% D
		10	A 10% D

Para garantir uma boa dispersão das cargas no polímero adicionou-se 1,0 % m m<sup>-1</sup> de espessante AQ-1680 e 0,5 % m m<sup>-1</sup> de dispersante AQ-9921 da *Águia Química*.

O procedimento realizado para o preparo dos compósitos foi esquematizado na figura 14.



**Figura 14 - Representação esquemática do procedimento de preparo dos compósitos com resina acrílica.**

### **4.3. Técnicas empregadas na caracterização da matéria prima e dos compósitos**

Os materiais de partida, resina acrílica e cargas foram caracterizados empregando-se as técnicas de: Fluorescência de raios X (EDX), Espectroscopia de infravermelho (IR), Difração de raios X (DRX) e Termogravimetria (TG).

Para a caracterização dos compósitos foram feitas as análises de: Espectroscopia de infravermelho (IR), Difração de raios X (DRX) e Caracterização acústica.

A caracterização acústica foi realizada com equipamento emprestado pela empresa *Exergis*. Já as demais análises foram realizadas nos laboratórios de análise de Materiais dos departamentos de Química e de Engenharia de Materiais do Cefet-MG.

#### **4.3.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X**

A Fluorescência de raios X foi utilizada para a análise semiquantitativa da composição das amostras de carga inorgânicas. Para isto, foi utilizado o equipamento *EDX-720* da marca *Shimadzu*.

#### **4.3.2. Espectroscopia na região do Infravermelho**

A espectroscopia de infravermelho foi realizada com objetivo, além de caracterizar a resina com e sem a adição de carga, verificar se as amostras ficaram com as cargas dispersas de forma homogênea. Para essa verificação, foi realizada a leitura em dois pontos da amostra, na parte superior e na inferior.

A análise foi realizada com 64 *scans* e *resolution* 4, para comprimentos de onda de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$  em % Transmitância no Espectrômetro de Infravermelho da *Smiths* modelo *DuraSampl IR II* utilizando o acessório ATR.

### **4.3.3. Difração de raios x**

A difração de raios X foi realizada em um equipamento *Shimadzu* modelo *XDR-7000*. Os parâmetros de análise foram: variação do ângulo  $2\theta$  de 4 a  $80^\circ$ , com aquecimento padrão.

### **4.3.4. Análise Termogravimétrica**

A análise termogravimétrica foi realizada em um aparelho *Shimadzu*, modelo *DTG-60H*. As condições utilizadas foram aquecimento com taxa de  $10^\circ\text{C}$  de temperatura ambiente a  $900^\circ\text{C}$ , com atmosfera de ar.

Esta técnica foi utilizada com o objetivo de avaliar a faixa de temperatura que a resina acrílica pode ser utilizada sem alterar a sua característica química.

### **4.3.5. Caracterização acústica**

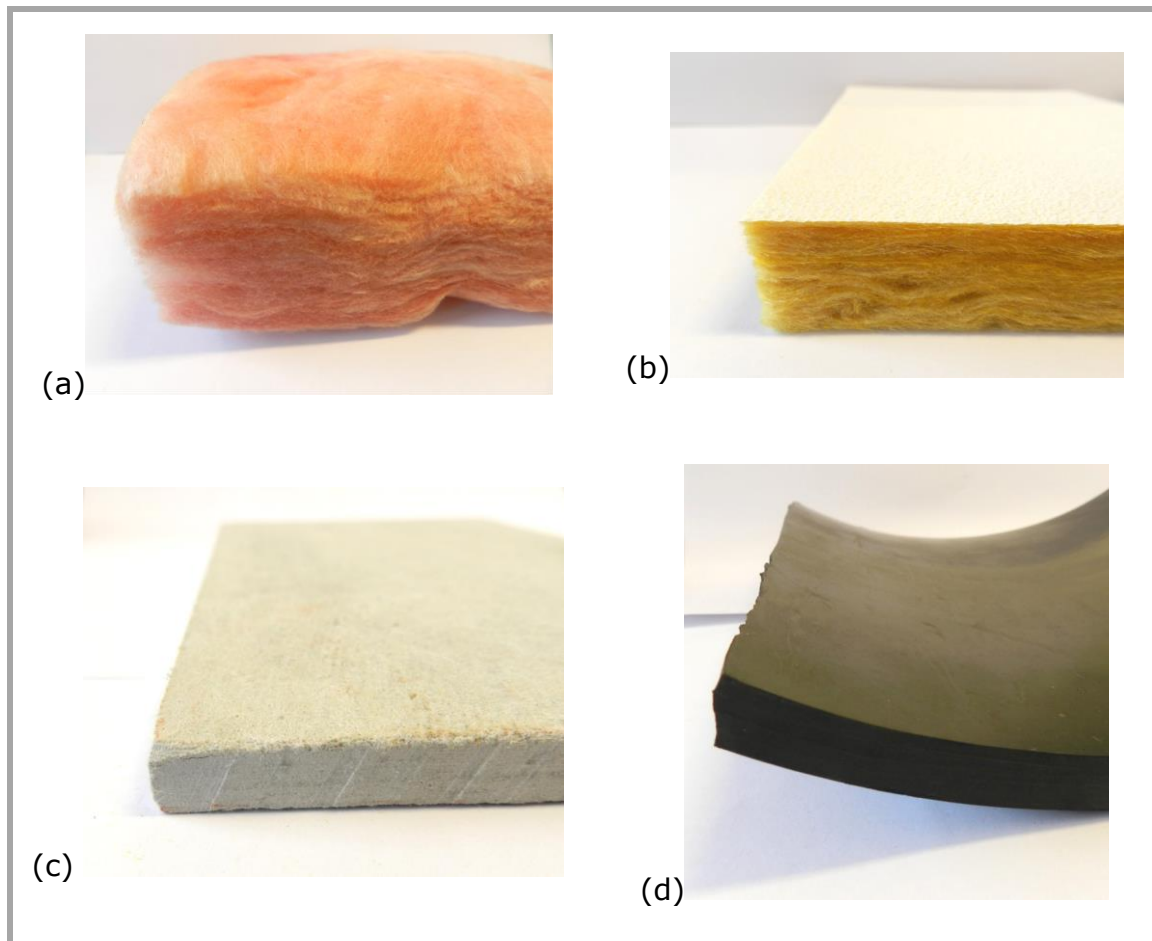
A análise da capacidade de absorção sonora dos compósitos foi realizada empregando uma Câmera Acústica Portátil, modelo *MSV-V1* da *Mobile Sound View*.

As condições experimentais para a avaliação do desempenho de absorção sonora da resina acrílica elastomérica pura e dos compósitos obtidos foram: distância entre a fonte emissora e a amostra de 2,5 cm, tempo do pulso de 10.000 ms, potência do sinal de 6 W RMS, frequências analisadas de 18,35; 23,12; 30,87 e 38,89 Hz.

As medidas, tanto da resina acrílica pura, dos compósitos e dos materiais comerciais foram realizadas em um suporte metálico de zinco com dimensão de 200X250 mm e espessura de 0,45 mm.

Para a comparação do desempenho dos compósitos desenvolvidos, foram avaliados 4 produtos disponíveis no mercado com o objetivo de proporcionar conforto acústico. Os materiais utilizados foram: Lã de vidro

da *Owens Corning*, lã de vidro com acabamento em PVC da *Isover*, placa cimentícia impermeabilizada de 12 mm da *Brasilit* e borracha natural de 12mm, figura 15.



**Figura 15 - Materiais comerciais avaliados como absorvedores sonoros: (a) lã de vidro, (b) lã de vidro com acabamento em PVC, (c) placa cimentícia e (d) borracha natural.**

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Caracterização da matéria prima

#### 5.1.1. Espectroscopia de fluorescência de raios X

A análise de fluorescência de raios X foi empregada para avaliar a composição em termos dos óxidos constituintes das cargas utilizadas como aditivo. Os resultados obtidos foram apresentados na tabela 9.

**Tabela 9 - Concentrações obtidas pela análise semiquantitativa de fluorescência de raios X para as cargas.**

Amostra	Si	S	Ca	K	Fe
Microesfera oca	46	1,6	52	-	0,4
Microsílica	93	1,0	1,7	4,0	0,3

De acordo com os resultados apresentados, a microesfera oca apresentou uma composição semelhante a do vidro comum (sodo-cálcico), que possui um teor médio de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) de 72% m m<sup>-1</sup>, de óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) de 14%, de óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) de 11% e os 3 % restantes com óxidos de magnésio ( $\text{MgO}$ ), de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) e de alumínio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) com 4% (BABISK, 2009). Segundo o fabricante, a microesfera oca é composta por borossilicatos de cálcio e sódio, portanto esta correlação é pertinente.

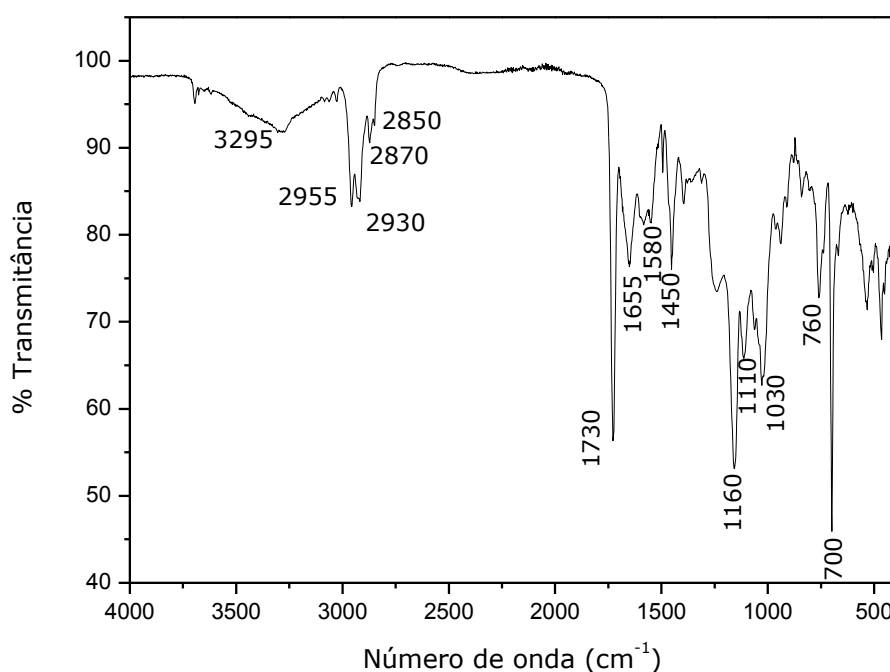
Em contrapartida, o teor de sílica contido na microsílica é muito elevado, semelhante a composição do quartzo. Os resultados obtidos por SOARES et al., 2012, na análise por ICP-OES (espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente) do quartzo, apresentaram uma composição com 97,1 % de  $\text{SiO}_2$ , 0,36 % de Ca, 0,17 % de K e 2,37%, 0,28 % de Fe e 2,09 % de outros elementos como Al e Na (SOARES et al. 2012).



## 5.1.2. Espectroscopia na região do Infravermelho

A análise do infravermelho coletado foi realizada com o objetivo de caracterizar o polímero utilizado e verificar se existe interação química entre as cargas e o material polimérico. Esta interação pode alterar significativamente as suas propriedades tais como: resistência a flexão, cristalinidade, ponto de fusão, temperatura de transição vítrea e viscoelasticidade (RABELLO, 2000).

O espectro obtido para a Resina acrílica elastomérica não dopada foi apresentado na figura 16. Os valores de número de onda em que ocorreram absorções e as vibrações correspondentemente foram apresentados na tabela 10.



**Figura 16 - Espectro infravermelho da resina acrílica elastomérica.**

**Tabela 10 - Número de onda e tipo de vibração correspondente às bandas de transmitância.**

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de vibração
3295	Estiramento de O-H
2955	Estiramento assimétrico de C-H de Csp <sup>3</sup>
2930	Estiramento assimétrico de C-H de CH <sub>2</sub>
2870	Estiramento simétrico de C-H de CH <sub>3</sub>
2850	Estiramento simétrico de C-H de CH <sub>2</sub>
1730	Estiramento de C=O de éster
1160, 1110 e 1030	Estiramento de C-O de éster
1580	Estiramento C=C de anel aromático
760 e 700	Deformação C-H fora do plano, de anel aromático monosubstituído

Fonte: (SIKKA et al., 1997; SCHÄFER, 1997)

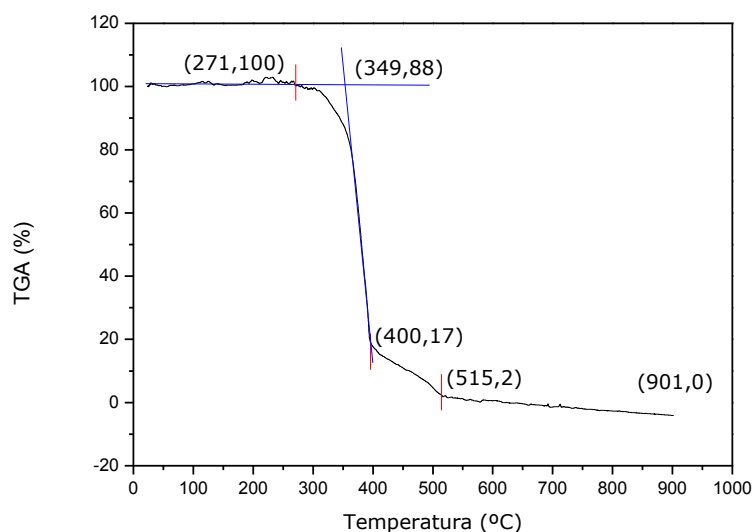
A banda formada no número de onda de 3295 cm<sup>-1</sup> pode ser associada ao estiramento O-H uma vez que o polímero é encontrado na forma de dispersão em água. A presença desta banda pode indicar que a secagem não removeu toda a água presente. Esta banda pode estar sobrepondo a de C-H de carbono sp<sup>2</sup> do anel aromático (PAVIA et al. 2001).

As demais bandas encontradas estão de acordo com as obtidas por Schäfer et al. (1996) e Sikka et al. (1997). Foram observadas as bandas de estiramento do C=O e C-O de éster e as de C=C e de deformação de C-H de anel aromático. Este resultado indica que polímero realmente é um copolímero formado entre o ácido acrílico e o estireno.

### **5.1.3. Análise Termogravimétrica**

A análise termogravimétrica apresenta informações sobre a estabilidade térmica do material.

A curva termogravimétrica da amostra da resina acrílica elastomérica foi representada na figura 17.



**Figura 17 - Curva termogravimétrica da amostra de resina acrílica elastomérica sem adição de carga.**

Ao analisar a curva, observa-se que a resina acrílica decompõe-se em três etapas distintas. Segundo Duarte, 2010, isto ocorre devido a presença de outros compostos com massas molares diferentes da resina acrílica. De acordo com a figura 17, a resina pura, é estável termicamente até a temperatura de 271,3 °C, acima deste valor o polímero se decompõem. A temperatura de 900 °C não foi observado mais nenhuma massa relativa a amostra, este resultado indica que não existe nesta resina, nenhum material não volátil, ou inorgânico.

Na tabela 11 foram apresentados os dados de intervalo de temperatura e variação de massa para cada uma das etapas apresentadas pela resina acrílica pura.

**Tabela 11 - Concentrações e composições das amostras preparadas.**

Amostra	Etapa 1			Etapa 2			Etapa 3			Resíduo
	T (°C) início	T (°C) fim	%Δm	T (°C) início	T (°C) fim	%Δm	T (°C) início	T (°C) fim	%Δm	
A pura	271	400	82	400	515	17	515	901	1	0

Analisando a tabela 11, foi observado que a primeira etapa do processo de decomposição da resina acrílica pura inicia-se a 271 °C e termina a 400 °C, nesta etapa ocorre a perda de 82 % m m<sup>-1</sup> de massa em relação a massa inicial. A primeira etapa foi a que apresentou o maior percentual de perda. A segunda etapa inicia-se a temperatura de 400°C e termina em 515 °C, esta etapa foi responsável pela perda de 17 % m m<sup>-1</sup>. A terceira e última etapa inicia-se a 515° e termina a 901 °C, nesta faixa de temperatura todos os produtos formados nas demais etapas volatilizaram ou decompõem, de tal forma que não foi observado nenhuma massa para o resíduo final.

Esta análise foi realizada apenas para a amostra de resina pura, devido ao equipamento ter apresentado problemas de funcionamento. Para uma avaliação do efeito das cargas na estabilidade dos compósitos é fundamental que a análise também seja realizada com as amostras dopadas.

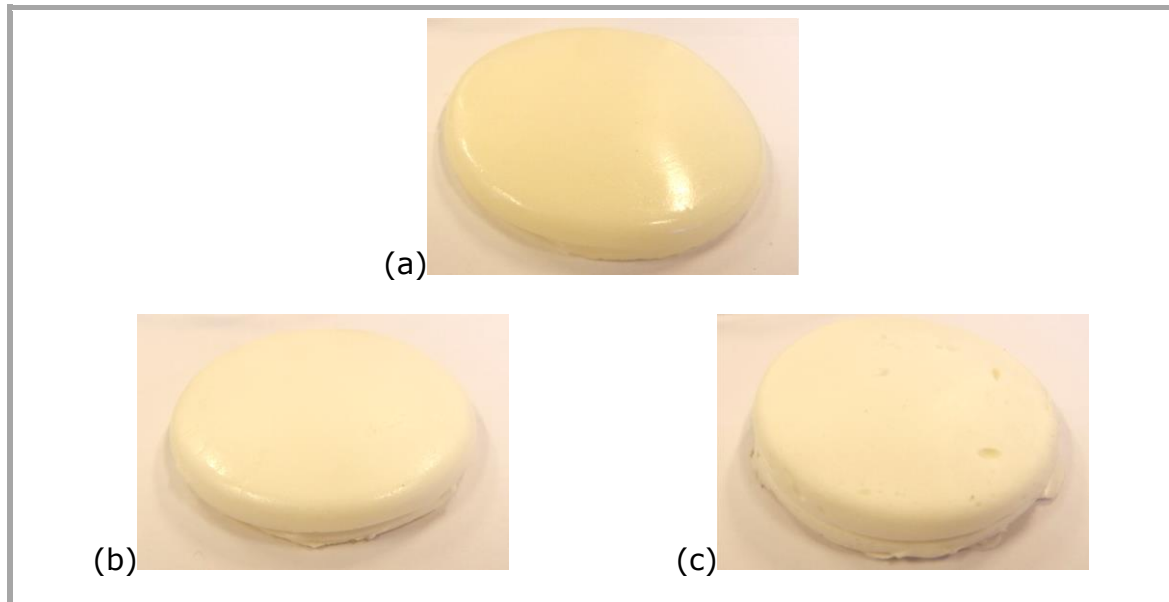
## **5.2. Caracterização dos compósitos**

### **5.2.1. Aspectos visuais**

As imagens obtidas das amostras preparadas com a resina acrílica elastomérica foram apresentadas abaixo. A figura 18 corresponde a resina sem adição de carga, amostra de referência. Na figura 19 estão os compósitos contendo 1, 5 e 10 % m m<sup>-1</sup> de microesferas de vidro oca e na 20 com a carga de microsílica nas mesmas composições acima.

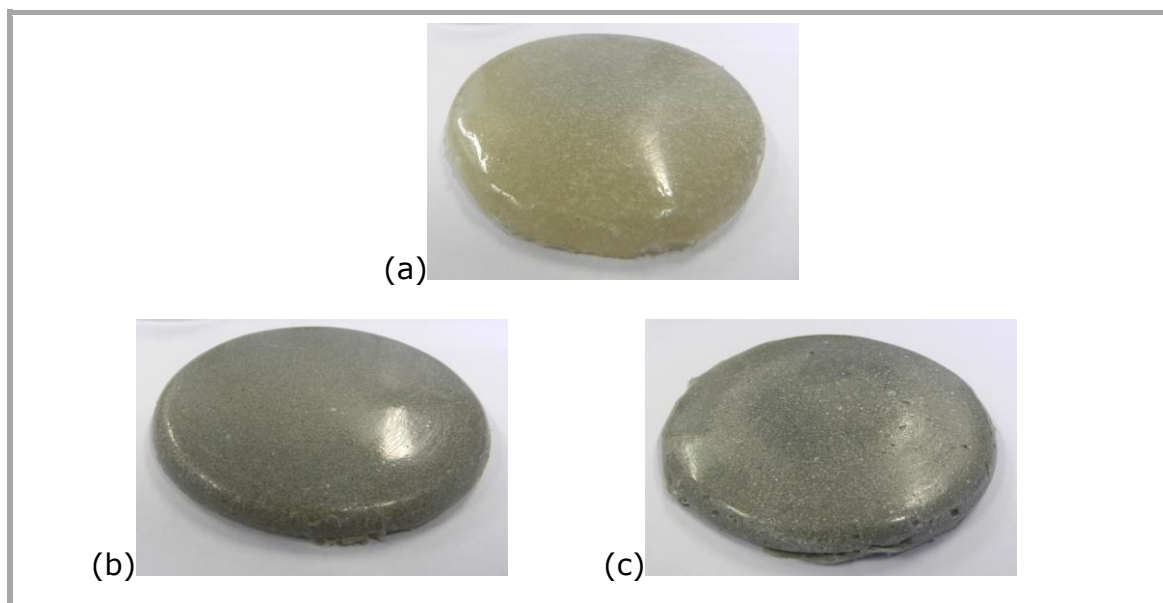


**Figura 18 - Resina acrílica elastomérica sem adição de carga.**



**Figura 19 - Compósitos de resina acrílica elastomérica com microesferas de vidro oca nos teores (a) 1, (b) 5 e (c) 10% m m<sup>-1</sup>.**

Comparando as figuras 18 e 19, observa-se que a resina não aditivada com as esferas de vidro oca, amostra referência, apresentou-se visualmente mais transparente e flexível que as amostras dopadas com 1, 5 e 10% m m<sup>-1</sup>. A medida que o teor de esfera aumentou o compósito ficou mais opaco e menos flexível.

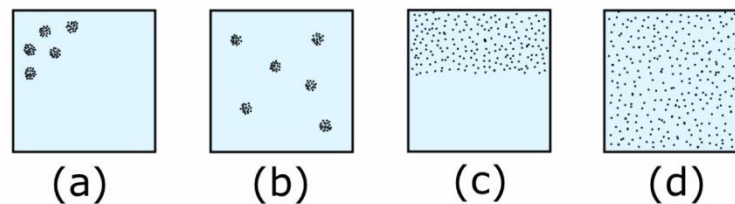


**Figura 20 - Compósitos de resina acrílica elastomérica com microsílca nos teores (a) 1, (b) 5 e (c) 10% m m<sup>-1</sup>.**

Ao se comparar o aspecto visual das amostras aditivadas com microsílca, foi observado que as mesmas perderam em flexibilidade e transparência em relação a amostra não dopada, figura 18. Contudo, diferentemente das amostras dopadas com a microesfera de vidro, figura 19, elas apresentaram uma cor mais escura e a amostra dopada com 10% m m<sup>-1</sup> de microsílca, ainda apresentava certa flexibilidade. Este resultado foi semelhante ao obtido por Silva et al. (2014) que analisou o efeito da adição de sílica ( $\sim 10\mu\text{m}$ ) (composição de 96,73 % de SiO<sub>2</sub>, 2,93 % de SO<sub>3</sub> e 0,34 % de CuO) nas características mecânicas e reológicas do PMMA comum e elastomérico. Os resultados obtidos pelos autores indicaram que a adição de sílica não alterou a resistência a tração do polímero elastomérico, o que foi associado a possibilidade de uma menor interação entre as partículas e o material. E a rigidez também não foi afetada. Segundo os autores este fator é mais fortemente afetado pelo tipo de carga do que pela sua concentração. Pelo teste de deformação a adição da sílica reduz em três vezes a capacidade de deformação do material, e isto foi associado à variação da geometria da sílica que pode agir como pontos de ruptura (SILVA et al., 2014).

## 5.2.2. Espectroscopia na região do Infravermelho

Esta técnica também foi empregada na avaliação da dispersão do aditivo na matriz polimérica. Para que os aditivos apresentem boa atuação é importante que se alcance uma boa dispersão e boa distribuição. As misturas entre o polímero e o aditivo podem ser classificadas como: (a) mal distribuído e mal disperso, (b) bem distribuído e mal disperso, (c) mal distribuído e bem disperso e (d) bem distribuído e bem disperso, figura 21 (RABELLO, 2000).

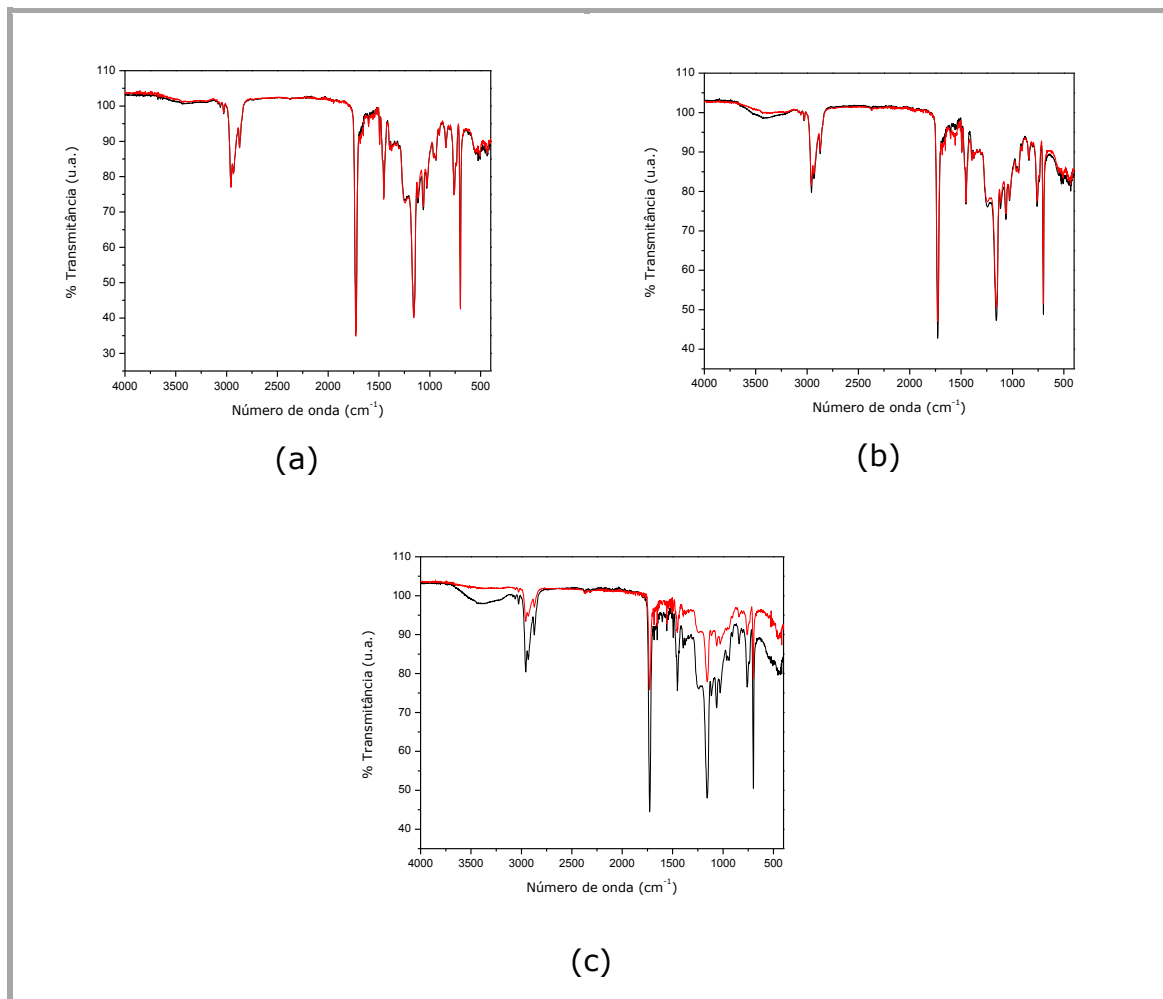


**Figura 21 - Representação da dispersão e distribuição de aditivos em polímeros.**

Fonte: JONES, 1989 *apud*. RABELLO, 2000.

Para fazer esta avaliação, realizou-se a análise nas duas superfícies do material, a que ficou para cima e a que ficou para baixo durante a secagem. Uma melhor sobreposição dos espectros obtidos para cada ponto indica que as cargas foram bem distribuídas.

Na figura 22 foram apresentados os espectros das amostras com microesferas de vidro ocas, a linha preta corresponde à parte de cima e a vermelha à parte de baixo.

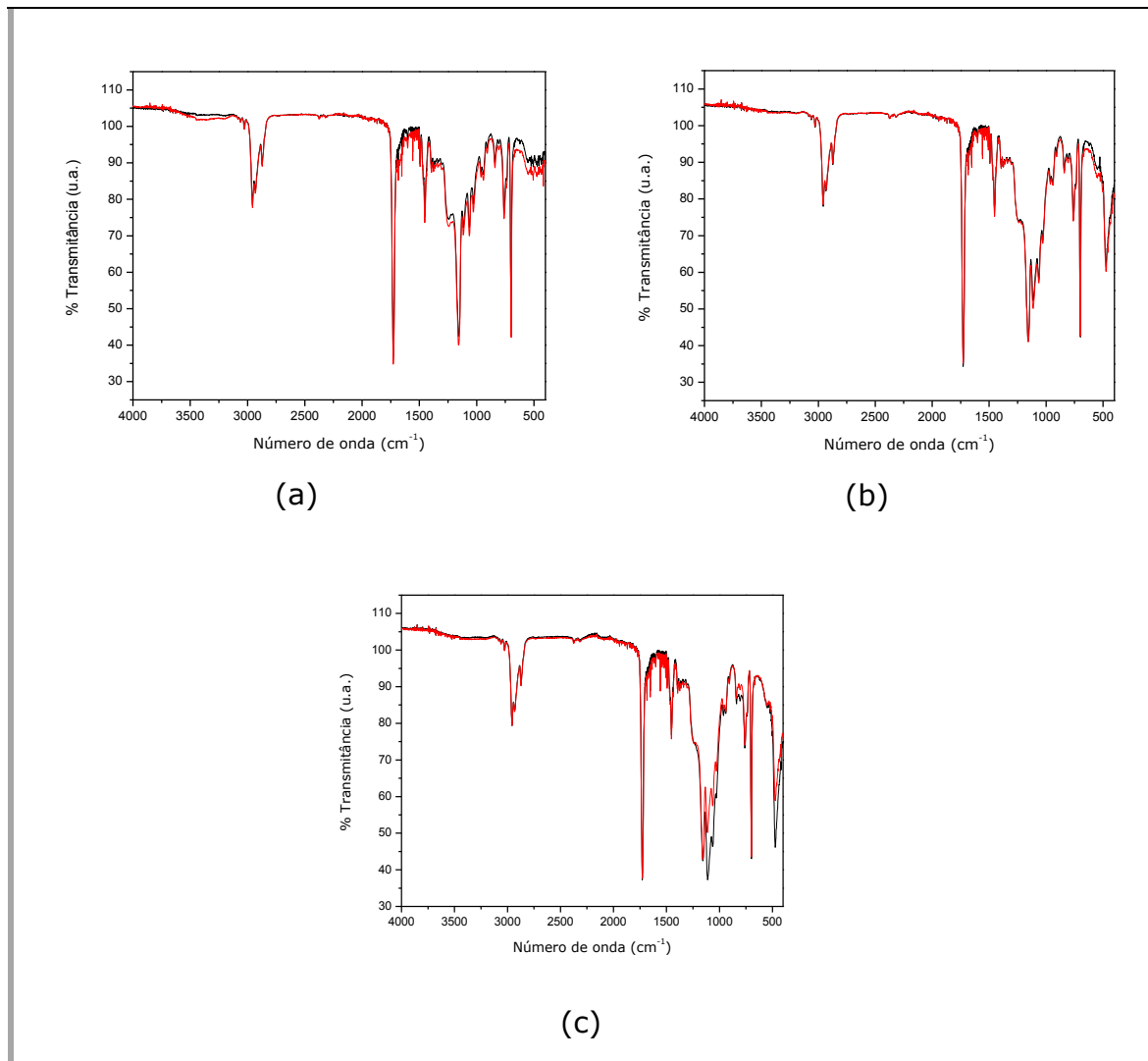


**Figura 22 - Sobreposição dos espectros de IR dos compósitos com microesferas de vidro nos teores de (a) 1, (b) 5 e (c) 10 % m m<sup>-1</sup>.**

Ao analisar os espectros de resina acrílica com microesferas, observa-se que apenas a sobreposição da amostra contendo 10 % não foi boa. Este resultado indica que não houve uma dispersão homogênea da carga no polímero, uma vez que esta se acumulou na parte de cima. Isto ocorreu devido a maior dificuldade de homogeneização da amostra pelo agitador magnético. A adição de 10 % de microesferas aumentou a viscosidade da mistura e fez com que fosse necessário realizar a homogeneização manualmente. Devido a baixa densidade das microesferas ocas, elas se concentraram na parte superior.

Na figura 23 foram apresentadas as sobreposições dos espectros obtidos para as amostras com microsílica, a linha preta corresponde à parte de cima e a vermelha à parte de baixo.





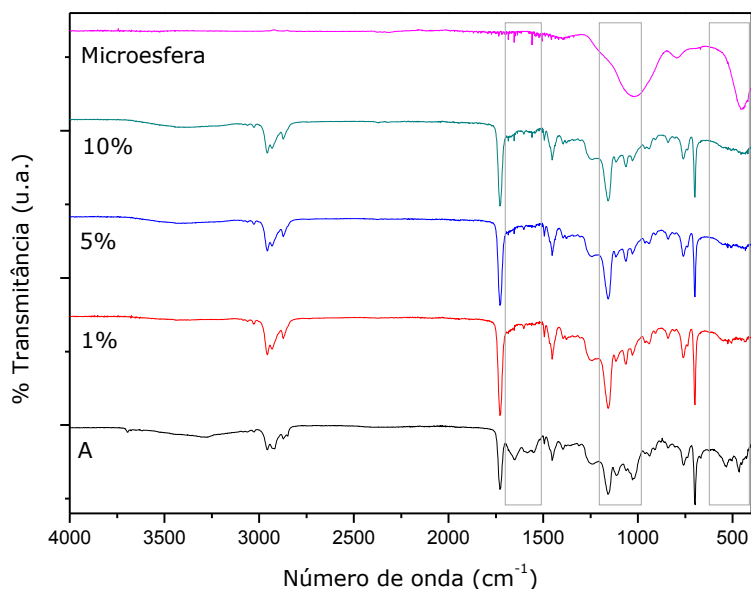
**Figura 23 - Sobreposição dos espectros de IR dos compósitos com microsílca nos teores de (a) 1, (b) 5 e (c) 10 % m m<sup>-1</sup>.**

A sobreposição dos espectros obtidos dos compósitos com microsílca indicaram uma boa dispersão e boa distribuição do material no polímero. Apenas no espectro para o compósito com 10 % de microsílca houve uma diferença e, portanto, para o preparo de amostras com esta concentração é mais indicado o uso de um agitador mecânico.

Para que esta análise represente melhor a distribuição em toda a área da amostra é necessário realizar a técnicas em muitos pontos de cada superfície e fazer uma média.

Os resultados da análise de infravermelho também foram utilizados para avaliar a interação das cargas com a resina acrílica.

Os espectros obtidos para as amostras de microesferas de vidro, de resina sem carga e dos compósitos com 1 %, 5 % e 10 % m m<sup>-1</sup> de microesferas foram apresentados na figura 24.



**Figura 24 - Espectro no infravermelho para amostras com adição de microesferas de vidro oca, sendo que A é a resina pura.**

O espectro obtido para as microesferas apresentaram bandas nos comprimentos de onda de 1035, 780 e 450 cm<sup>-1</sup>. Estas bandas correspondem às obtidas por Rong et al. (2011) para as deformações e os estiramentos de SiO<sub>2</sub>. Na tabela 12 foram apresentados os tipos de vibração associados a cada banda observada.

**Tabela 12 - Vibrações correspondentes às bandas de absorção da amostra de microesfera de vidro oca.**

Tipo de vibração	Número de onda (cm <sup>-1</sup> )
Estiramento assimétrico Si-O-Si	1035
Estiramento simétrico Si-O-Si no plano	780
Deformação Si-O-Si	450

Fonte: RONG et al. 2011.

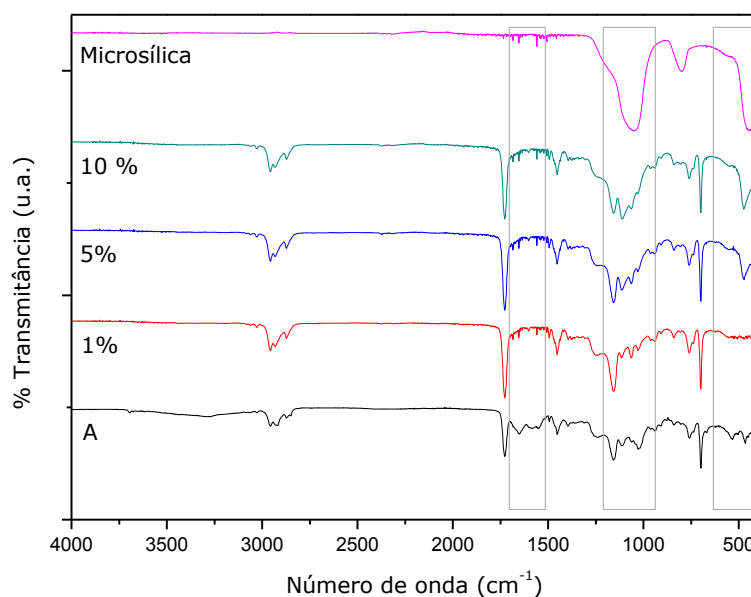
Comparando os espectros obtidos para a resina acrílica com e sem a adição de microesferas, observa-se que há uma variação nas bandas de alguns números de onda. Na tabela 13, foram apresentados os valores de número de onda em que ocorreram estas alterações.

**Tabela 13 - Números de onda das bandas que mudaram com a adição de microesferas de vidro oca.**

Número de onda (cm <sup>-1</sup> )	Tipo de vibração
1580, 1450	Estiramento C=C de anel aromático
1160, 1110, 1030	Estiramento de C-O de éster
~500	Deformação Si-O-Si

Nas amostras em que foi adicionada a microesfera de vidro oca, não foi possível identificar as bandas relativas aos estiramentos do C=C do anel aromático. Este resultado indica que ocorre interação ente a carga e o polímero, alterando as suas propriedades. Já em relação a alteração nas bandas de estiramento do C-O e as próximas a 500 cm<sup>-1</sup>, pode ser devido a influência das bandas do SiO<sub>2</sub>.

Na figura 25, foram representados os espectros de absorção de infravermelho obtidos para as amostras com adição de microsíllica.



**Figura 25 - Espectro no infravermelho para amostras com adição de microsíllica, sendo que A é a resina pura.**

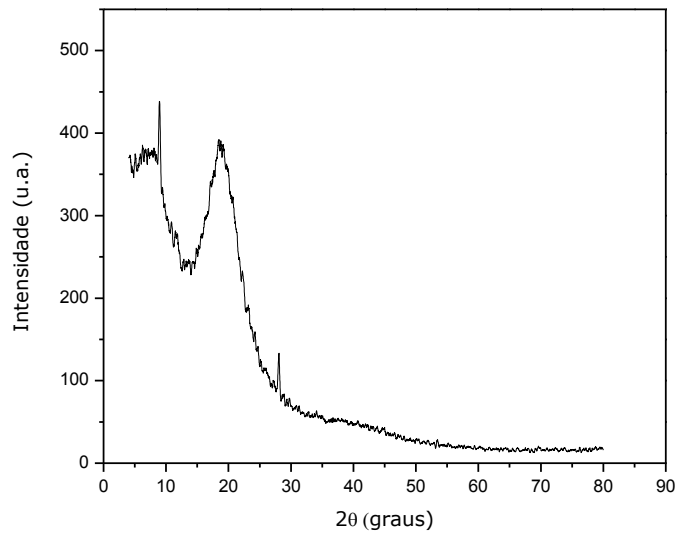
Analisando o espectro da microsílca, observou-se que as bandas obtidas ocorreram no mesmo número de onda que as da microesfera, sendo também relativas a estiramentos e deformações do SiO<sub>2</sub>.

As regiões em que ocorreram as alterações nas bandas também foram as mesmas que para a microesfera, entretanto, foi observado um alargamento das bandas nas regiões de 1035 e 440 cm<sup>-1</sup>, que aumenta com o aumento da concentração de microsílca. Este alargamento pode ser associado às bandas de absorção da microsílca que começam a sobrepor a do polímero. Este efeito pode não ter sido observado nos compósitos com adição de microesferas, pois estas apresentam uma concentração menor de SiO<sub>2</sub>.

### **5.2.3. Difração de raios X**

A técnica de difração de raios X foi empregada na avaliação das possíveis fases formadas e no grau de cristalinidade dos materiais sintetizados. O objetivo principal foi avaliar a influência da adição das esferas, oca e microsílca, na cristalinidade do polímero.

A figura 26 representa o difratograma obtido para a amostra de resina acrílica elastomérica sem adição de carga.



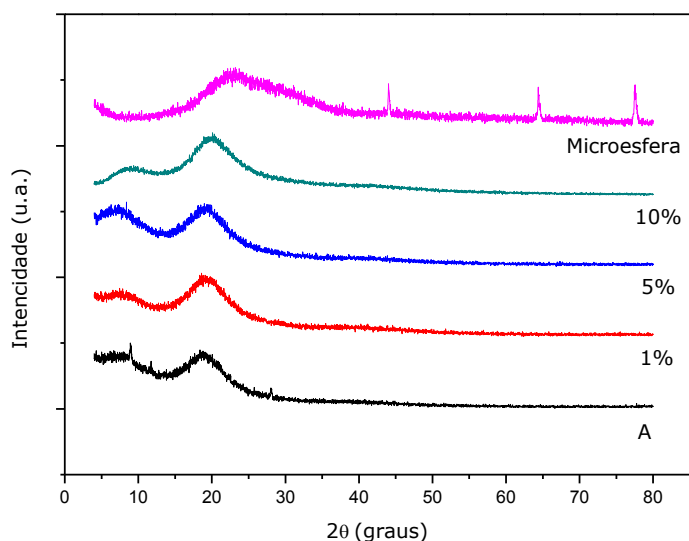
**Figura 26 - Difratograma da amostra de resina acrílica elastomérica sem adição de carga.**

Analisando qualitativamente o difratograma obtido para a amostra de resina acrílica não dopada, foi observado que este material é semi-cristalino. Pois o difratograma apresenta um alargamento da linha base entre  $2\theta$   $4^\circ$  e  $50^\circ$  graus indicando a existência no material de uma região amorfa e as linhas alargadas em  $8^\circ$  e  $20^\circ$  indicam a presença de uma região cristalina no material.

O grau de cristalinidade da amostra ( $GC$ ) foi estimado pelo cálculo das áreas do difratograma identificadas como fração cristalina ( $AC$ ) e fração amorfa ( $AA$ ) utilizando-se a equação 5.

$$GC = \frac{AC}{AC+AA} \quad \text{Equação 5}$$

Na figura 27 foram apresentados os difratogramas para as amostras dopadas com microesfera de vidro oca, comparadas com os materiais de partida. Os valores encontrados para o grau de cristalinidade destas amostras foram apresentadas na tabela 14.



**Figura 27 - Difratograma da amostra de resina acrílica elastomérica com microesfera oca, sendo (A) Resina acrílica pura.**

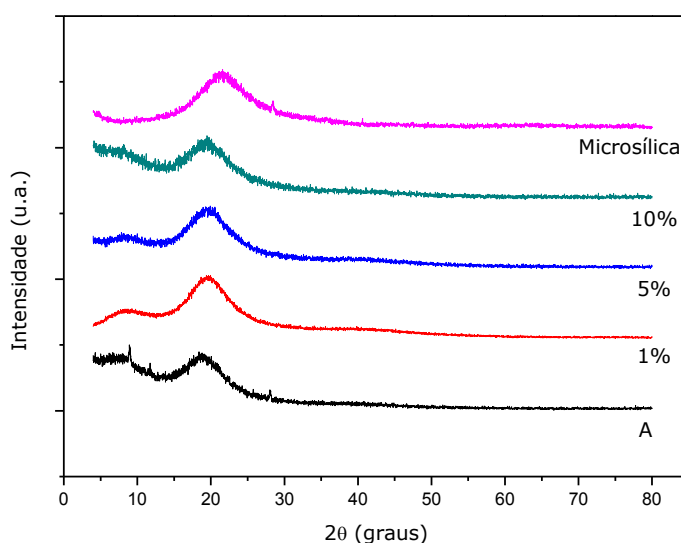
**Tabela 14 - Grau de cristalinidade da resina pura e das amostras com adição de microesferas de vidro oca.**

Material	Grau de cristalinidade	
Resina pura		20 %
Compósitos com microesferas	1 %	20 %
	5 %	20 %
	10 %	23 %

Analisando o efeito da adição de microesfera de vidro oca no grau de cristalinidade da resina acrílica, nota-se um aumento na intensidade das linhas de difração existentes nos ângulos de 8° e 20° para a concentração de 10 %. Pelo resultado do grau de cristalinidade observa-se que o valor passou de 20 % para 23 %. Este resultado indica um aumento muito pequeno do grau de cristalinidade da amostra, que pode ser devido a uma

interação entre os grupos  $\text{SiO}_2$  e o polímeros, uma vez que a microesfera oca, não apresenta em seu difratograma linhas nos respectivos ângulos observados. Dessa forma, observa-se que a adição de microesferas nestas concentrações altera muito pouco o grau de cristalinidade da amostra.

Na figura 28 são apresentados os difratogramas para as amostras dopadas com a microsílca, comparadas com os materiais de partida. Na tabela 15 estão os valores obtidos para o grau de cristalinidade destas amostras.



**Figura 28 - Difratograma de raios X para as amostras com adição de microsílca.**

**Tabela 15 - Grau de cristalinidade da resina pura e das amostras com adição de microsílca.**

Material	Grau de cristalinidade	
Resina pura	20 %	
Compósitos com microsílca	1 %	29 %
	5 %	26 %
	10 %	20 %

Diferentemente do que foi observado para as amostras dopadas com a microesfera de vidro, a adição da microsílca confere ao polímero dois comportamentos distintos. Quando foi feita a adição de 1% m m<sup>-1</sup> de microsílca, foi observado o aumento do grau de cristalinidade de 20 % para

29 % do material polimérico. Contudo, para teores superiores a 1% m m<sup>-1</sup>, foi observado que o grau de cristalinidade diminuiu, 26 % para a amostra de 5 % mm<sup>-1</sup> e 20 % para a amostra de 10 % mm<sup>-1</sup>. Acredita-se que o aumento da cristalinidade deve-se a interação entre os grupamentos SiO<sub>2</sub> da microsílica com o polímero, contudo a tendência observada no comportamento ainda não pode ser explicada, é necessários realizar mais ensaios.

#### 5.2.4. Avaliação Sonora

Os resultados encontrados para a avaliação da absorção sonora da resina elastomérica pura e dos compósitos obtidos empregando a microesfera oca da 3M foram apresentados na tabela 16. Como foi utilizada uma placa metálica como suporte para aplicação da resina, esta também foi avaliada, o resultado obtido serviu para predizer se os materiais empregados com absorvedores sonoros conseguiram reduzir a intensidade sonora.

**Tabela 16 - Valores obtidos na análise da absorção sonora para as mostras com microesferas de vidro oca.**

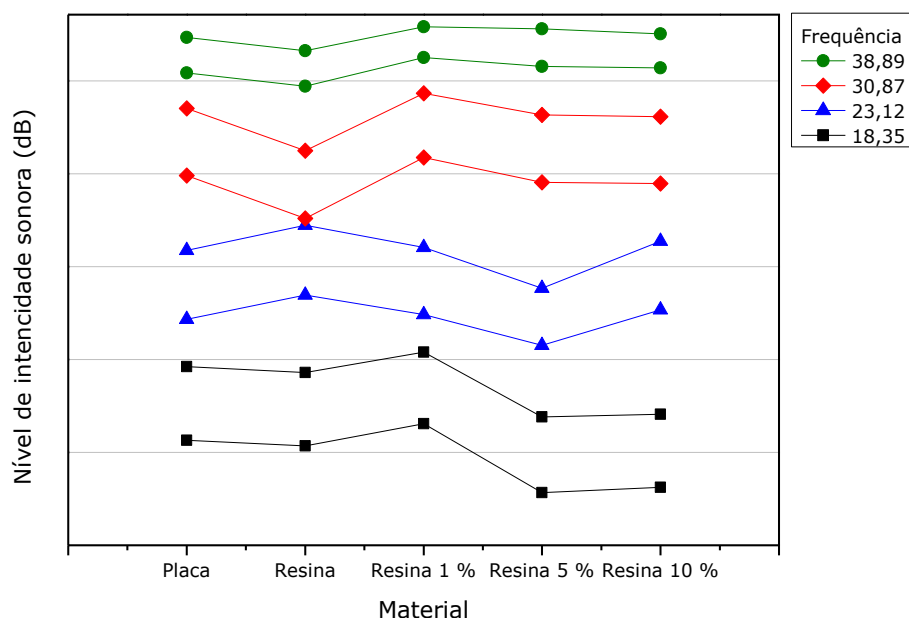
Material	Tempo do pulso (ms)	Espessura da camada (mm)	Frequência (Hz)	dB max	dB min
Placa	10000	0,45	18,35	75,18	73,96
			23,12	75,61	74,40
			30,87	76,78	75,58
			38,89	77,06	75,81
Resina	10000	1,0	18,35	74,96	73,75
			23,12	76,56	75,31
			30,87	75,18	73,96
			38,89	76,56	75,31
Resina 1%	10000	1,0	18,35	75,73	74,58
			23,12	75,73	74,58
			30,87	77,35	76,25
			38,89	77,46	76,39

Continuação da tabela 16



Material	Tempo do pulso (ms)	Espessura da camada (mm)	Frequência (Hz)	dB max	dB min
Resina 5%	10000	1,0	18,35	73,29	71,98
			23,12	74,19	73,42
			30,87	76,53	75,32
			38,89	77,39	76,06
Resina 10%	10000	1,0	18,35	73,39	72,18
			23,12	75,96	74,75
			30,87	76,46	75,27
			38,89	77,19	76,00

De posse dos valores do nível de intensidade sonora máxima e mínimo, foi representado graficamente estes parâmetros em função do tipo de material, figura 29.



**Figura 29 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microesferas.**

Analisado os resultados obtidos, foi observado que todas as amostras avaliadas melhoram o conforto acústico absorvendo parte da onda sonora que a atravessou. A resina sem adição de carga reduziu os níveis de intensidade sonora das ondas com frequência de 18,35; 30,87 e 38,89 Hz. A resina dopada com 1 %  $m\ m^{-1}$  de microesfera de vidro oca reduziu a intensidade nas frequências de 23,12 Hz. A com 5 % reduziu para as

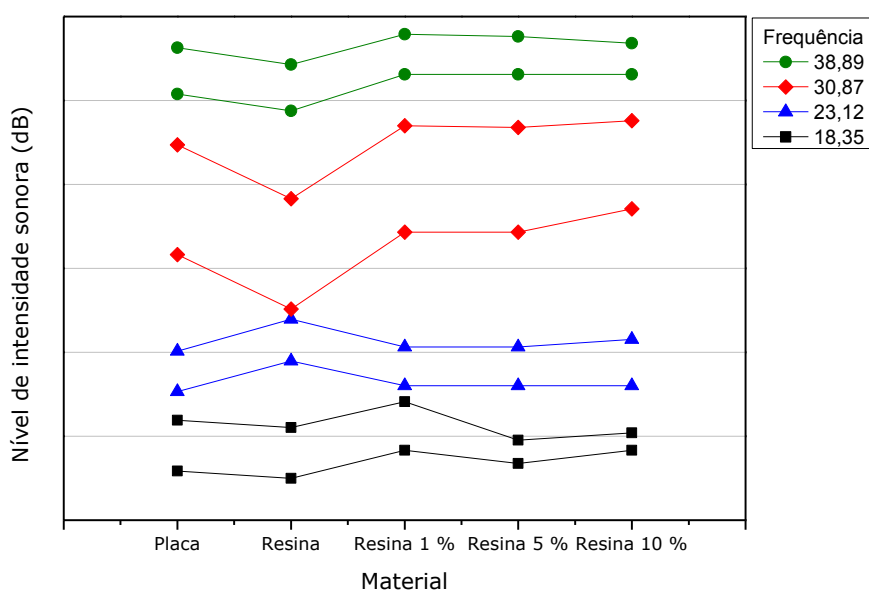
frequências de 18,35; 23,12; 30,87 Hz. Já a amostra com 10 % reduziu em 18,35 e 30,87 Hz.

Os resultados encontrados para a avaliação da absorção sonora dos compósitos obtidos empregando a microsilica são apresentados na tabela 17.

**Tabela 17 - Valores obtidos na análise da absorção sonora para as mostras com microsilica.**

Material	Tempo do pulso (ms)	Espessura camada (mm)	Frequência (Hz)	dB max	dB min
Placa	10000	0,45	18,35	75,18	73,96
			23,12	75,61	74,40
			30,87	76,78	75,58
			38,89	77,06	75,81
Resina	10000	1,0	18,35	74,96	73,75
			23,12	76,56	75,31
			30,87	75,18	73,96
			38,89	76,56	75,31
Resina 1%	10000	1,0	18,35	75,73	74,58
			23,12	75,73	74,58
			30,87	77,35	76,25
			38,89	77,46	76,39
Resina 5%	10000	1,0	18,35	74,58	74,19
			23,12	75,73	74,58
			30,87	77,30	76,25
			38,89	77,39	76,39
Resina 10%	10000	1,0	18,35	74,80	74,58
			23,12	75,96	74,58
			30,87	77,50	76,95
			38,89	77,19	76,39

O gráfico dos valores de nível de intensidade sonora para cada material em função da frequência foi representado graficamente na figura 30.



**Figura 30 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microsilica.**

Para os resultados apresentados na tabela 17 e na figura 30, foi observado que o compósito obtido com 1% m m<sup>-1</sup> de microsilica não apresentou redução do nível de intensidade sonora. Já com a adição de 5% e de 10% foi observada redução apenas do nível máximo na frequência de 18,35 Hz.

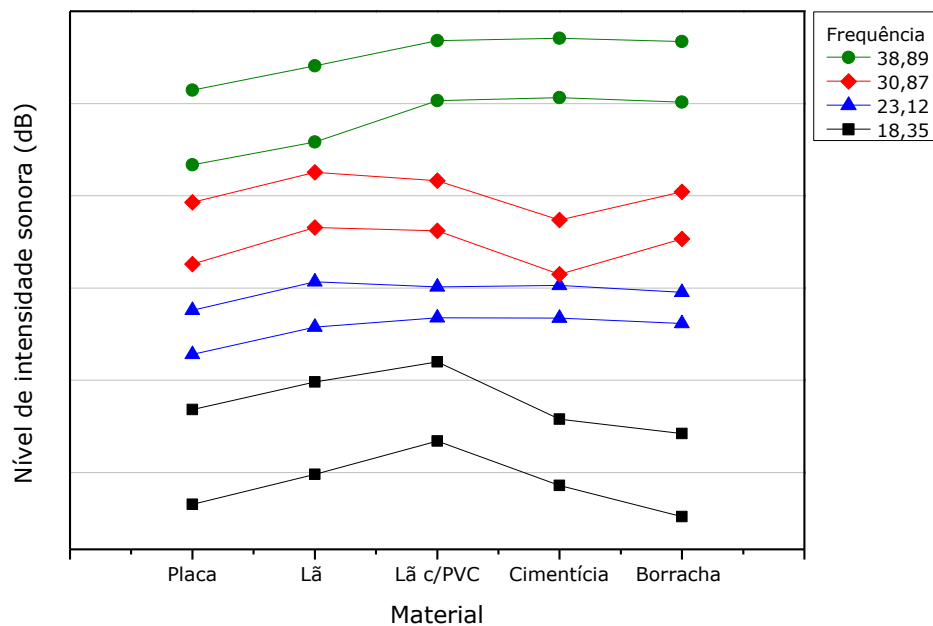
Os resultados encontrados para a avaliação da absorção sonora das amostras comerciais avaliadas foram apresentados na tabela 18, o gráfico obtido foi observado na figura 31.

**Tabela 18. Valores obtidos na análise da absorção sonora para as amostras comerciais.**

Material	Tempo do pulso (ms)	Espessura (mm)	Frequência (Hz)	dB max	dB min
Placa	10000	0,45	18,35	75,18	73,96
			23,12	75,61	74,40
			30,87	76,78	75,58
			38,89	77,06	75,81
Lã de vidro	10000	51	18,35	76,08	74,94
			23,12	76,53	75,29
			30,87	77,75	76,77
			38,89	77,85	76,55

Continuação da tabela 18

Material	Tempo do pulso (ms)	Espessura da camada (mm)	Frequência (Hz)	dB max	dB min
Lã de vidro com PVC	10000	20	18,35	76,73	76,02
			23,12	76,37	75,59
			30,87	77,48	76,67
			38,89	78,67	77,90
Placa cimentícia	10000	8,0	18,35	74,87	74,58
			23,12	76,42	75,58
			30,87	76,20	75,25
			38,89	78,75	77,99
Borracha natural	10000	12	18,35	74,40	73,56
			23,12	76,19	75,40
			30,87	77,12	76,40
			38,89	78,64	77,85



**Figura 31 - Níveis sonoros para a placa metálica, a resina sem carga e as com adição de microsílca.**

De acordo com os resultados apresentados na tabela 18 e figura 31 para as amostras comerciais, foi observado que para as frequências estudadas somente a placa cimentícia e a borracha natural melhoraram o conforto acústico. A borracha natural apresentou redução do nível de

intensidade sonora apenas na frequência de 18,35 Hz, já a placa cimentícia apresentou desempenho nesta frequência e na de 30,87 Hz. Nas demais frequências todas as amostras apresentaram aumento do nível.

Comparando o desempenho entre os compósitos com microesfera de vidro oca da 3M, os com microsílica e as amostras comerciais, os compósitos obtidos empregando a carga da 3M foram os que apresentaram melhor desempenho de absorção sonora, conforto acústico, nas frequências estudadas. O segundo material de melhor desempenho foi a placa cimentícia, seguida da borracha. Os compósitos com microsílica foram os que apresentaram pior desempenho, pois a diminuição no nível da intensidade foi observada apenas no nível máximo para a frequência de 18,35 Hz.

A resina acrílica elastomérica sem adição de carga foi a única amostra, de todas analisadas, que apresentou redução do nível sonoro na frequência de 38,89 Hz.

Estes resultados estão de acordo com o que a literatura especializada que cita que não existe um único material que possa ser usado como barreira acústica em uma faixa ampla de frequência. E que na realidade os produtos mais eficientes, são aqueles em que se trabalha com um produto formado por diversas camadas de materiais diferentes (LAMOUNIER, 2008).

## **6. CONCLUSÃO**

Neste trabalho foram preparados compósitos de resina acrílica elastomérica com a adição de 1, 5 e 10 %  $m\ m^{-1}$  das cargas de microesferas de vidro oca e de microsílica. A caracterização das cargas por EDX permitiu verificar que as microesferas apresentam 45 % de  $SiO_2$ , enquanto a microsílica apresenta 92 %.

Empregando a técnica de Espectroscopia na Região do Infravermelho (IR) observou-se que a adição de cargas altera os modos vibracionais da resina indicando que ocorre a formação de uma nova interação, entre a carga e o polímero.

Empregando a técnica de Difração de Raios X (DRX) foi observado que a resina acrílica elastomérica utilizada apresenta grau de cristalinidade de 20 %. Ao realizar a adição das cargas este valor sofreu pequenas alterações, com a adição de microesferas de vidro oca ocorreu alteração apenas para a amostra com concentração de 10 % m m<sup>-1</sup> que apresentou cristalinidade de 23 %. Já para as amostras com microsílca houve um aumento para a amostra com 1 % m m<sup>-1</sup>, que ficou com 29 %, uma diminuição para concentrações maiores, 26 % para amostra de 5 % m m<sup>-1</sup> e 20 % para a de 10 % m m<sup>-1</sup>.

Os resultados obtidos para análise da absorção sonora indicaram as amostras da resina elastomérica sem adição de carga e dos compósitos com microesferas de vidro oca apresentaram melhor desempenho, com redução do nível sonoro nas quatro frequências. O segundo material que melhor reduziu os níveis de intensidade sonora foi a placa cimentícia, nas frequências de 18,35 e 30,87 Hz, seguida da borracha natural, com redução da intensidade sonora apenas em 18,35 Hz.

Os compósitos obtidos com o uso da microsílca foram os que apresentaram o pior desempenho, pois a diminuição no nível da intensidade sonora foi observada apenas no nível máximo para a frequência de 18,35 Hz nos teores de 5 e 10 % m m<sup>-1</sup>.

Para a complementação deste trabalho poderia ser realizada a análise de absorção sonora com outras faixas de frequência e com outros materiais de referência como a espuma de poliuretano e poliéster. Para uma melhor avaliação dos valores obtidos pela câmara acústica poderia ser realizada a análise de absorção sonora também em um laboratório licenciado. Além disso, para implementação de trabalhos futuros, é possível destacar a necessidade da realização das análises de TG para as amostras aditivadas. Estas análises determinam a faixa de temperatura em que o material pode ser utilizado sendo também possível verificar o efeito da quantidade e do tipo de carga nesta propriedade. Também é interessante a execução da análise de densidade e porosidade, que são citadas na revisão como propriedades importantes que devem ser avaliadas na identificação e caracterização de materiais acústicos.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3M. Microesferas de vidro. Disponível em: <[http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt\\_BR/AplicacoesIndustriais/Home/ProdutosSolucoes/EspecialidadesQuimicas/Microesfera/#](http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/AplicacoesIndustriais/Home/ProdutosSolucoes/EspecialidadesQuimicas/Microesfera/#)>. Acesso em 13 nov. 2014.

3M. Descrição Técnica das Microesferas 3M. Disponível em: <[http://solutions.3m.com.br/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=pt\\_BR&lmd=1260943342000&assetId=1258559160567&assetType=MMM\\_Image&blobAttribute=ImageFile](http://solutions.3m.com.br/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?locale=pt_BR&lmd=1260943342000&assetId=1258559160567&assetType=MMM_Image&blobAttribute=ImageFile)>. Acesso em 13 nov. 2014.

ÁGUIA QUÍMICA. **Linha 2013: Resinas Sintéticas**. Disponível em: <[http://www.aguiaquimica.com/upload/tiny\\_mce/catalogo/Catalogo\\_Aguia\\_Quimica\\_2013\\_V03.pdf](http://www.aguiaquimica.com/upload/tiny_mce/catalogo/Catalogo_Aguia_Quimica_2013_V03.pdf)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

AIST. **Spectral Database for Organic Compounds**. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology. Disponível em: <[http://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct\\_frame\\_top.cgi](http://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/direct_frame_top.cgi)>. Acesso em: 8 nov. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10151**: Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade. Rio de Janeiro, 2000. 4p.

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

BABISK, M. P. **Desenvolvimento de vidros sodo-cálcicos a partir de resíduos de rochas ornamentais**. 2008. 90 p. Dissertação (Mestrado em Ciências dos Materiais) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

BRAUN, L. F. M. A montagem de Young no estudo da interferência, difração e coerência de fontes luminosas. **Cad.Cat.Ens.Fis.** v. 11, n. 3, p. 184-195, 1994.

CALZA, C. F. **Desenvolvimento de sistema portátil de fluorescência de raios X com aplicações em arqueometria**. 2007. 173 p. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Nuclear) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CATAI, R. E.; PENTEADO, A. P.; DALBELLO, P. F. Materiais, métodos e processos para isolamento acústico. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 17, 2006, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2006. p. 4205-4216.

CELESTINO, M. L. **Desenvolvimento de misturas elastoméricas de borracha acrílica e borracha nitrílica**. 2007. 111 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Polímeros) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CHAVEZ, A. **Física Básica**: Gravitação, fluidos, ondas, termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2007. 242 p. (Ondas II, 5)

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº1, de 8 de março de 1990**. Brasil, 1990.

COQUIM. **Produtos orgânicos em fibra de coco**. Disponível em: <<http://www.coquim.com.br/index.php>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

DIMACBRAS. **Fornecimento de matérias prima para isolamento acústico, térmico e drywall**. Disponível em: <<http://www.kobuti.com.br/>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

DINIZ, C.; RODRIGUES, S.; KOVACS, V. Drywall: entenda como funciona esse sistema de construção. **Arquitetura & Construção**. 2014. Disponível em: <<http://casa.abril.com.br/materia/drywall-entenda-como-funciona-esse-sistema-de-construcao>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

DOURADO, M. V. **Estudo de compósitos poliméricos preparados com óleo de linhaça e sílica mesoporosa**. 2008. 172 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília.

FANTINI, A. C. A. **Análise estrutural e morfológica por raios X**. Universidade de São Paulo. Disponível em: <[http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/57259/mod\\_resource/content/1/XRDSAXS.pdf](http://disciplinas.stoa.usp.br/pluginfile.php/57259/mod_resource/content/1/XRDSAXS.pdf)>. Acesso em: 14 ago. 2014.

FERREIRA, J. A. C.; ZANNIN, P. H. T. Determinação de coeficientes de isolamento acústico: medições in situ e simulação computacional. **Ambiente Construído**. v. 7, n. 2, p. 15-29, 2007.

FERRETI, M. Princípios e aplicações de espectroscopia de fluorescência de Raios X (FRX) com instrumentação portátil para estudo de bens culturais. **CPC**. n. 7, p. 74-98, 2009.

HIPOLITO I. da S.; HIPOLITO, R. da S.; LOPES, G. de A. Polímeros na construção civil. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 10, 2013. **Anais...** Gestão e Tecnologia para a Competitividade, 2013.

IBGE. **Censo 2010: população do Brasil é de 190 732 694 pessoas**. 2010. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo?view=noticia&id=1&idnoticia=1766&t=censo-2010-populacao-brasil-190-732-694-pessoas>>. Acesso em 22 out. 2014.

JUNIOR, S. V. C. **Ciência dos Polímeros**: Um texto básico para tecnólogos e engenheiros. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006. 231 p.

JUNIOR, S.V.C. **Técnicas de Caracterização de Polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2003. 448 p.



KIM, M. S. ; YAN, J.; KANG, K. M.; JOO, K. H.; PANDEY, J. K.; KANG, Y. J.; AHN, S. H. Soundproofing properties of polypropylene/clay/carbon nanotube nanocomposites. **Jornal of Applied Polymer Science**. 2013.

KNAUF. **Knauf Cleaneo Acústico**. Disponível em: <<http://www.knauf.com.br/?id=62>>. Acesso em: 10 dez. 2014.

LAMOUNIER, M. M. **Critérios para seleção de materiais acústicos utilizados em recintos fechados para diferentes tipologias**. 2008. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT, Ouro Preto.

LEE, J.C.; HONG, Y.S.; NAN, R.G.; JANG, M.K.; LEE, C.S.; AHN, S.H.; KANG, Y.J. Soundproofing effect of nano particle reinforced polymer composites. **Jornal of Mechanical Science and Technology**. n. 22, p. 1468-1474, 2008.

LIANG, J. Z.; JIANG, X. H. Soundproofing effect of polypropylene/inorganic particle composites. **Composites: Part B**. n. 43, p. 1995-1998, 2012.

MARTINS, G. V. de C. P. **Caracterização acústica de materiais fonoabsorventes à base de filmes de polímero monocomponentes sobre lâ mineral fibrada**. 2008. 132p. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

MARTINES, M. A. U.; DAVOLOS, M. R.; JÚNIOR, M. J. O efeito do ultra-som em reações químicas. **Química Nova**. v. 23, n. 2, p. 251-256, 2000.

MINASLIGAS. **Microsílica**. Disponível em: <[http://www.minasligas.com.br/produtos\\_abre.asp?area=3&secao=3&tp=1&site=1&id=4](http://www.minasligas.com.br/produtos_abre.asp?area=3&secao=3&tp=1&site=1&id=4)>. Acesso em: 10 dez. 2014.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. **NR 15**: Atividades e operações insalubres. Brasil, 2011. 82 p.

PAULA, R. N. F. **Ondas longitudinais**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/fisica/ondas-longitudinais/>>. Acesso em 20 nov. 2014.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. **Introduction to spectroscopy**: A guide for students of organic chemistry. 3 ed. Thomson Learning, 2001.

RABELLO, M. S. **Aditivos de Polímeros**. 1 ed. São Paulo: Artliber Editora, 2000.

RONG, Q.; ZHU, A.; ZHONG, T. Poly (styrene-n-butyl acrylate-methyl methacrylate)/silica nanocomposites prepared by emulsion polymerization. **Jornal of Applied Polymer Science**. v. 120, p. 3654-3661, 2011.

SANTOS, F. A. **Avaliação de placas cimentícias com resíduo de EVA quanto ao seu nível de isolamento acústico em sistemas de pisos flutuantes**. 2013. 142p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SCHÄFER, R.; ZIMMERMANN, J.; KRESSLER, J.; MÜLHAUPT, R. Morphology and phase behavior of poly(methyl methacrylate)/poly(styrene-co-acrylonitrile) blends monitored by FTi.r. microscopy. **Polymer**. v. 38, n. 15, p. 3745-3752, 1997.

SIKKA, M.; PELLEGRINI, N. N.; SCHMITT, E. A.; WINEY, K. I. Modifying a polystyrene/poly(methyl methacrylate) interface with poly(estirene-co-methyl methacrylate) random copolymers. **Macromolecules**. n. 30, p. 445-455, 1997.

SILVA, E. dos S. **Processamento e caracterização de compósitos poli(meacrilato de metila)/sílica (PMMA/SiO<sub>2</sub>)**. 2013. (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SILVA E. dos S.; RIBEIRO, L. A.; NASCIMENTO, M. C. B. do; ITO, E. N. Rheological and mechanical characterization of poly(methyl methacrylate)/sílica (PMMA/SiO<sub>2</sub>) composites. **Materials Research**. v. 17, n. 4, p. 926-932, 2014.

SILVA, P. **Acústica Arquitetônica e condicionamento de ar**. 3. ed. Belo Horizonte: EDTAL Editora, 1997.

SOARES, L. G. L.; SAMPAIO, J. A.; SILVA, F. S. N. G. da; AMADO, R. S. Estudos de beneficiamento e caracterização de quartzo para obtenção de silício grau solar. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA – CETEM, XX, 2012, **Anais...** 2012

World Health Organization. **Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe**. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, 2011. Disponível em: <[http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0008/136466/e94888.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0008/136466/e94888.pdf)> . Acesso em: 21 out. 2014.

YAN, J.; KIM, M. S.; KANG, K. M.; JOO, K. H.; KANG, Y. J.; AHN, S. H. Evaluation of PP/clay composites as soundproofing material. **Polymers & Polymer Composites**. v. 22, n. 1, p. 65-72, 2014.