

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA EM
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM LAMA
VERMELHA**

Luiz Henrique Schneider Heleodoro

**Rio de Janeiro,
Junho de 2015**

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO
SUCKOW DA FONSECA – CEFET/RJ**

**AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ENERGIA EM
COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM LAMA
VERMELHA**

Luiz Henrique Schneider Heleodoro

Projeto de Graduação apresentado em cumprimento às
normas do Departamento de Educação Superior, como
parte dos requisitos necessários à obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Prof. Orientadores: Juliana Primo Basílio de Souza
Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

Rio de Janeiro

Junho de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

H474 Heleodoro, Luiz Henrique Schneider
Avaliação da absorção de energia em compósitos poliméricos
reforçados com lama vermelha / Luiz Henrique Schneider
Heleodoro.—2015.
v, 56f. + anexos : il.color. , graf. , tabs. ; enc.

Projeto Final (Graduação) Centro Federal de Educação
Tecnológica Celso Suckow da Fonseca , 2015.

Bibliografia : f.55-56

Orientadores : Juliana Primo Basilio de Souza

Ricardo Alexandre Amar de Aguiar

1. Engenharia mecânica. 2. Materiais compostos –
Propriedades mecânicas. 3. Polímeros. 4. Resíduos industriais -
Reaproveitamento. 5. Alumínio. I. Souza, Juliana Primo Basilio de
(Orient.). II. Aguiar, Ricardo Alexandre Amar de (Orient.). III. Título.

CDD 621

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho
em memória do meu pai, Lucio Heleodoro Nunes,
pessoa na qual me espelhei, um exemplo de vitória pela perseverança e trabalho, que
por poucos meses não pode presenciar esta minha vitória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, por ter dedicado sua vida aos seus filhos fazendo todos os tipos de mimos e guloseimas, além de ser minha fiel escudeira.

Agradeço à Carla Carolina Teixeira, que me deu o maior presente do mundo e durante o tempo que passamos juntos foi meu porto seguro e faz parte desta conquista por ter acreditado e me motivado nas vezes que pensei em desistir.

Agradeço aos meus orientadores Juliana Basílio e Ricardo Aguiar, pela oportunidade oferecida, além de toda a ajuda na confecção dos corpos de prova e realização dos ensaios de DMA, deslocando-se para UFF mesmo no período de férias, além de todas as dicas e sugestões para o projeto.

Agradeço a todos os meus amigos e companheiros de faculdade, pelas festas, risadas, churrascos, horas de estudo e trabalho em equipe.

Ao meu príncipe Victor Hugo, por compreender a minha necessidade de dividir meu tempo com o trabalho, estudo e com ele de maneira tão compreensiva.

RESUMO

Os polímeros têm grandes aplicações na atualidade, desde simples itens domésticos a compósitos poliméricos avançados utilizados, por exemplo, na indústria aeroespacial em cones de foguetes e revestimentos de veículos submetidos à reentrada na atmosfera. A utilização de compósitos poliméricos cresce a cada ano e associado a isto há uma preocupação cada vez maior de utilizar resíduos industriais como matéria prima para novos produtos.

O alumínio é um dos metais de maior importância industrial e econômica na atualidade. Em 2012 o Brasil produziu mais de um milhão de toneladas de alumínio, porém, o processo de obtenção gera uma quantidade de resíduo industrial ainda maior. Uma possível aplicação do resíduo proveniente deste processo, a lama vermelha (LV), é a adição desta em compósitos poliméricos.

Para utilização da LV em compósitos, faz-se necessário avaliar suas propriedades. Com isso o objetivo deste projeto é desenvolver um equipamento para avaliar a propriedade mecânica de absorção de energia, através da variação da energia potencial de uma esfera padrão e em seguida comparar os resultados obtidos com os valores encontrados nas análises termomecânicas de DMA.

Palavras-chave: lama-vermelha; polímeros reforçados com lama-vermelha; absorção de energia, DMA, propriedades mecânicas dos compósitos, análise dinâmico mecânica.

ABSTRACT

Actually the polymers have large applications, since a simple household to advanced composites used, for example, in the aerospace industry in rocket cones and aerospace bus coating submitted to re-entry.

The use of polymer composites are growing every year and associated to this, it's growing the concern to use an industrial waste as raw material for new products.

Aluminum is one of the largest metal industrial and economical importances today. In 2012 Brazil produced over than one million tons of aluminum, however, the process of getting generates a greater amount of industrial waste and one possible application of this residue, the red mud (LV), is the addition in polymeric composites.

To use the LV composite, it is necessary to evaluate its properties. Therefore, the objective of this project is to develop an apparatus for evaluating the mechanical property of energy absorption by variation of the potential energy of a standard sphere and then comparing the results obtained with the values found on the dynamical thermomechanical analysis of DMA.

Keywords: red mud; polymers reinforced with red mud, composite properties, DMA, dynamical thermomechanical analysis.

SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA.....	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE FIGURAS.....	4
LISTA DE TABELAS.....	5
Capítulo I	6
Introdução.....	6
1.1 Motivação	6
1.2 Objetivo.....	7
1.3 Estrutura do texto.....	7
Capítulo II	8
2. Revisão Bibliográfica	8
2.1. Processo de obtenção do alumínio	8
2.1.1. Cadeia primária	8
2.1.2. Redução do alumínio.....	9
2.2. A lama vermelha.....	10
2.2.1. Aplicações da Lama vermelha	11
2.3. Polímeros.....	12
2.4. Compósitos.....	12
2.5. Propriedades mecânicas dos materiais.....	13
2.5.1. Ensaio de Tensão-Deformação.....	13
2.5.1.1. Ensaio de Tração	13
2.5.1.2. Resiliência.....	16
2.6. Análises Dinâmico – Mecânicas (DMA) e Termodinâmico – Mecânicas (DTMA)	17
2.7. Energia Mecânica	18
2.7.1. Energia Potencial Mecânica	18
2.7.1.1. Energia Potencial Elástica.....	19
2.7.1.2. Energia Potencial Gravitacional	19
2.7.1.3. Energia Cinética.....	19
2.7.1.4. Energia Dissipada	19

2.7.2.	Conservação da energia mecânica	20
2.8.	Vibrações Mecânicas.....	20
2.9.	Análises de propriedades poliméricas	21
	Capítulo III	23
3.	Materiais e métodos	23
3.1.	Materiais utilizados	23
3.2.	Confecção dos moldes	25
3.3.	Projeto do equipamento de análise	26
3.4.	Análise termodinâmico mecânico (DMA)	28
3.5.	Procedimento de teste.....	29
	Capítulo IV	30
4.	Experimentos	30
4.1.	Seleção das esferas	30
4.2.	Mudanças iniciais do mecanismo.....	31
4.3.	Primeiro experimento	33
4.4.	Experimentos com Resina à base poliéster insaturada com Lama vermelha	38
4.4.1.	Experimento R.P.I. 5%L.V.	38
4.5.	Experimento Sobre o Aço.....	41
4.5.1.	Experimentos com Resina Poliéster com adição de L.V.....	42
4.5.1.1.	Experimento R.P.I. com 5% de L.V.	43
4.5.1.2.	Experimento R.P.I. com 15% de L.V.	44
4.5.1.3.	Experimento R.P.I. com 25% de L.V.	45
4.5.2.	Com Resina Epóxi (EPO)	46
4.5.2.1.	Experimento EPO com 5% de L.V.	46
4.5.2.2.	Experimento EPO com 15% de L.V.	47
4.5.2.3.	Experimento EPO com 25% de L.V.	48
	Capítulo V	50
5.	Análise de resultados	50
5.1.	Resultados dos experimentos	50
5.2.	Comparação com os Resultados do DMA	51
	Capítulo VI	53
6.	Conclusão	53
6.1.	Sugestão para trabalhos futuros.....	54
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ANEXOS	57
ANEXO I	58
DMA de resina poliéster insaturada com 5% de L.V.	58
ANEXO II	62
DMA de resina poliéster insaturada com 15% de L.V.	62
ANEXO III	66
DMA de resina poliéster insaturada com 25% de L.V.	66
ANEXO IV	70
DMA de resina epóxi com 5% de L.V.	70
ANEXO V	74
DMA de resina epóxi com 15% de L.V.	74
ANEXO VI	78
DMA de resina epóxi com 25% de L.V.	78
ANEXO VII	82
Desenho de fabricação do mecanismo de acionamento	82

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1.2.1- PROCESSO HALL-HÉROULT.....	9
FIGURA 2.2.1- (A) E (B) LAGOA DE DEPOSIÇÃO NA ÍNDIA, (C) LAGOA DE DEPOSIÇÃO NA FRANÇA E (D) LAGOA DE DEPOSIÇÃO NO MARANHÃO – BR [04].....	10
FIGURA 2.5.1.1.1- CORPO-DE-PROVA PADRÃO PARA ENSAIOS DE TRAÇÃO COM SEÇÃO TRANSVERSAL CIRCULAR [06].....	14
FIGURA 2.5.1.1.2- REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM ENSAIO DE TRAÇÃO [06].....	14
FIGURA 2.5.1.1.3- RELATÓRIO DE ENSAIO DE TRAÇÃO NUM CP SAE 1020[10].	15
FIGURA 2.5.1.1.4- GRÁFICO TENSÃO X DEFORMAÇÃO PARA DIVERSOS MATERIAIS [10].....	16
FIGURA 3.1.1- ANÁLISE DE XRD DA LAMA VERMELHA.....	24
FIGURA 3.1.2- LAMA VERMELHA UTILIZADA PARA FABRICAÇÃO DOS COMPÓSITOS.....	24
FIGURA 3.2.1- MOLDURA UTILIZADA PARA CONFECÇÃO DAS AMOSTRAS.....	25
FIGURA 3.2.2- CORPO DE PROVA ACABADO	26
FIGURA 3.3.1- BASE DO EQUIPAMENTO DE LANÇAMENTO.....	27
FIGURA 3.3.2- MECANISMO DE LIBERAÇÃO DAS ESFERAS.....	28
FIGURA 4.1.1- ESFERAS UTILIZADAS NO PRIMEIRO TESTE.	30
FIGURA 4.1.2- ESFERAS SELECIONADAS PARA OS EXPERIMENTOS.....	31
FIGURA 4.2.1- MECANISMO COM ALTERAÇÕES INICIAIS.....	32
FIGURA 4.3.1- SISTEMA MASSA MOLA COM AMORTECIMENTO.....	33
FIGURA 4.3.2- IMAGENS DE PONTOS MÁXIMOS EM DIFERENTES ESFERAS E INSTANTES.....	34
FIGURA 4.3.3 – GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO EXPERIMENTO 1 –E1.....	36
FIGURA 4.3.4– GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO EXPERIMENTO 1 –E2.....	37
FIGURA 4.3.5– GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO EXPERIMENTO 1 –E3.....	37
FIGURA 4.4.1.1- GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO RPI5 – E1.....	39
FIGURA 4.4.1.2- GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO RPI5 – E2.....	40
FIGURA 4.4.1.3- GRÁFICO DE DESLOCAMENTO COM CURVA DE DECAIMENTO DO RPI5 – E3.....	40
FIGURA 5.1.1 - CURVA DO COEFICIENTE DE PERDA EM FUNÇÃO DO PERCENTUAL DE LV PARA OS RPI.....	51

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1-2 - PROPRIEDADE DAS RESINAS POLIÉSTER INSATURADA E EPÓXI.....	23
TABELA 4.3-1 - RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 DA E1	34
TABELA 4.3-2 - RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 DA E2	35
TABELA 4.3-3 - RESULTADOS DO EXPERIMENTO 1 DA E1	35
TABELA 4.3-4 - TABELA DE X(T) E V(T) - EXPERIMENTO 1 -E1.....	36
TABELA 4.3-5 - TABELA DE X(T) E V(T) - EXPERIMENTO 1 -E2.....	36
TABELA 4.3-6 - TABELA DE X(T) E V(T) - EXPERIMENTO 1 -E3.....	36
TABELA 4.3-7- COEFICIENTES DE AMORTECIMENTO DO EXPERIMENTO 1.....	38
TABELA 4.4.1-1- TABELA DE X(T) E V(T) - RPI5 – E1	39
TABELA 4.4.1-2- TABELA DE X(T) E V(T) - RPI5 – E2	39
TABELA 4.4.1-3- TABELA DE X(T) E V(T) - RPI5 – E3	39
TABELA 4.4.1-4- COEFICIENTES DE AMORTECIMENTO DO EXPERIMENTO 2.....	40
TABELA 4.5-1 – RESULTADOS OBTIDOS SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1	42
TABELA 4.5-2– RESULTADOS OBTIDOS SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	42
TABELA 4.5-3– RESULTADOS OBTIDOS SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	42
TABELA 4.5.1.1-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.....	43
TABELA 4.5.1.1-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	43
TABELA 4.5.1.1-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	44
TABELA 4.5.1.2-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.....	44
TABELA 4.5.1.2-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	44
TABELA 4.5.1.2-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	45
TABELA 4.5.1.3-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.....	45
TABELA 4.5.1.3-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	45
TABELA 4.5.1.3-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA RPI COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	46
TABELA 4.5.2.1-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.	46
TABELA 4.5.2.1-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	47
TABELA 4.5.2.1-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 5% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	47
TABELA 4.5.2.2-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.	47
TABELA 4.5.2.2-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	48
TABELA 4.5.2.2-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 15% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	48
TABELA 4.5.2.3-1 – RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 1.	48
TABELA 4.5.2.3-2– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 2.	49
TABELA 4.5.2.3-3– RESULTADOS OBTIDOS PARA EPO COM 25% DE L.V. SOBRE O AÇO PARA ESFERA 3.	49
TABELA 5.1-1- COEFICIENTES DE PERDAS DOS RPI REFORÇADOS COM LAMA VERMELHA	50
TABELA 5.1-2- COEFICIENTES DE PERDAS (AMORTECIMENTO) DOS EPO REFORÇADOS COM LAMA VERMELHA.	51
TABELA 5.2-1 COEFICIENTES DE PERDA PELO ENSAIO DE DMA C"(1,000 HZ)/(N/μM).	52

Capítulo I

Introdução

Os materiais utilizados pela engenharia vêm sendo atualizados constantemente, começando desde a pré-história com a idade das pedras, passando pela idade dos metais, antiguidade onde passou-se a utilizar vidros e cerâmicas, ligas metálicas e superligas e atualmente os polímeros (do grego, “muitas partes”) estão sendo utilizados em substituição aos outros materiais e em novas aplicações, devido à sua capacidade de agregar e em alguns casos suplantam as propriedades mecânicas das matérias primas utilizadas.

Outro importante fato é a necessidade de encontrar uma solução sustentável para resíduos industriais, visando diminuir os impactos ambientais. Atualmente é produzido mais de 90 milhões de toneladas de alumínio no mundo e o custo médio de estocagem do resíduo decorrente da obtenção do alumínio, a lama vermelha (LV), é cerca de 5% do total gasto no processo.

A lama vermelha é um resíduo proveniente do processo Bayer para obtenção do alumínio e, normalmente esta retém todo ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além de uma pequena quantidade de alumínio que não é extraído durante o processo. Apesar de ser considerado um produto não perigoso, sua deposição exige cuidados para não contaminar lençóis freáticos e rios e inalação dos metais presentes espalhados na forma de poeira pelo vento.

Do ano 2000 em diante, ocorreram diversos acidentes com lama vermelha ao redor do mundo, contaminando córregos, inundando cidades, destruindo faunas e floras, e até ocasionando a morte de nove pessoas e deixando centenas de feridos na Hungria em 2010. Apenas no Brasil foram citados dois casos, o primeiro em 2003 em Barcarena –PA onde um vazamento de LV atingiu o rio Murucupi e o mais grave em 2004 na cidade de São Paulo – SP, onde aproximadamente 900 mil litros de LV, contaminando alguns rios, destruindo sua fauna (BOILY, 2012).

1.1 Motivação

Os desastres ocorridos, associado ao alto potencial de aproveitamento da lama vermelha, em função de sua composição, fizeram com que inúmeros estudos fossem realizados focados no reaproveitamento da LV, adicionando-os em compósitos, a fim de

e elevar as propriedades mecânicas, térmicas e elétricas e em várias outras aplicações na engenharia. Uma das grandes vantagens dos compósitos está na alta capacidade de absorção de energia. Atualmente, para a maioria dos polímeros a avaliação da capacidade de absorção de energia não pode ser obtida por um ensaio de tração, fazendo-se necessário o uso de equipamentos mais sofisticados e uma mão de obra mais qualificada. Estes requisitos motivaram idealizar um mecanismo capaz de avaliar a absorção de energia nos compósitos com lama vermelha.

1.2 Objetivo

O objetivo deste trabalho é projetar um sistema capaz de avaliar a absorção de energia de um compósito polimérico com adição de diferentes porções de lama vermelha através da variação da energia potencial gravitacional de uma esfera padrão entre a altura de lançamento e a altura máxima obtida após ter rebatido no corpo de prova, de maneira comparativa à outro corpo de prova com valores definidos.

Além da análise realizada no mecanismo projetado, foram feitas análise dinâmico mecânico (DMA) em cada uma das composições a fim de validar o sistema, comparando os valores obtidos no equipamento projetado com os obtidos através do DMA.

1.3 Estrutura do texto

Capítulo 2 revisão bibliográfica, apresentando os conceitos fundamentais sobre a lama vermelha e sua origem e conceitos sobre propriedades mecânicas dos materiais, os principais conceitos de conservação de energia mecânica e conceitos de vibrações mecânicas que serão utilizados no projeto para avaliação e comparação.

O capítulo 3 aborda quais foram os materiais e métodos utilizados para a realização da avaliação, como a caracterização e fabricação dos corpos de prova, o projeto e detalhes de fabricação do mecanismo de liberação das esferas, o procedimento de testes das análises de DMA.

No capítulo 4 são apresentados todos os experimentos realizados, as principais dificuldades encontradas e os resultados obtidos.

O capítulo 5 apresenta os resultados dos experimentos realizados e os compara com os resultados obtidos nas análises de DMA e os compara com os resultados obtidos no capítulo 4 e por fim o capítulo 6 apresenta uma conclusão sobre os experimentos realizados.

Capítulo II

2. Revisão Bibliográfica

2.1. Processo de obtenção do alumínio

O processo de obtenção do alumínio (Al) é realizado através de dois processos distintos, o primeiro a ocorrer é na cadeia primária quando a matéria prima do Al é submetido ao processo Bayer obtendo-se um material já próximo do Al puro, conhecido por alumina. A segunda etapa, o processo de Hall-Héroult, é um processo de redução da alumina para obter-se o alumínio final.

2.1.1. Cadeia primária

A matéria prima para obtenção do alumínio, é alcançada a partir do refino da Bauxita pelo processo Bayer, patentado por Karl Josef Bayer, em 1888, desenvolvido para atender as necessidades das indústrias têxteis que utilizavam o Al_2O_3 como fixador para tingimento do algodão.

Com o passar do tempo houve uma evolução no processo e atualmente é caracterizado conforme o fluxograma ilustrado na Figura 2.1.1.1.

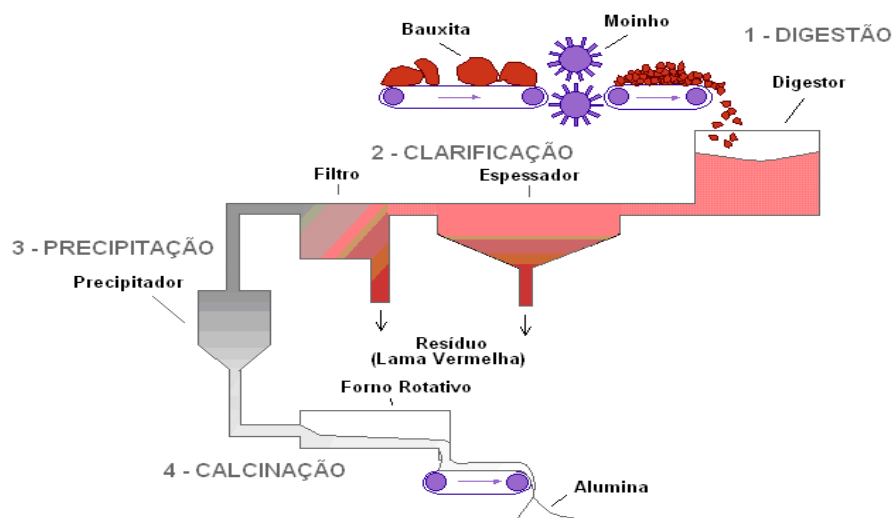


Figura 2.1.1.1 - Fluxograma e Esquema do Processo Bayer (Adaptado de WAO, 2003).

A Bauxita moída é transferida para um digestor onde há uma solução cáustica de hidróxido de sódio (NaOH). Nesta primeira etapa, é gerado um licor verde (solução rica em hidróxidos solúveis) formada pela dissolução das espécies de alumínio.

A segunda etapa é a clarificação onde há a sedimentação e filtração, separando assim o licor, rico em hidróxido de alumínio do resíduo conhecido como lama vermelha (LV) e, em seguida, este licor é enviado para a precipitação, onde é resfriado e recebe uma pequena quantidade de cristais de alumina, num papel inverso à digestão, para estimular a precipitação, gerando uma alumina cristalizada.

A última etapa tem a função de remover qualquer resíduo de licor produzido na primeira etapa através da lavagem, secagem e em seguida a calcinação, obtendo-se a Alumina Pura.

2.1.2. Redução do alumínio

Após obtida a alumina, esta é enviada para um processo de conhecido por Hall-Héroult, onde a alumina calcinada é reduzida em tubas eletrolíticas, ilustrado na Figura 2.1.2.1

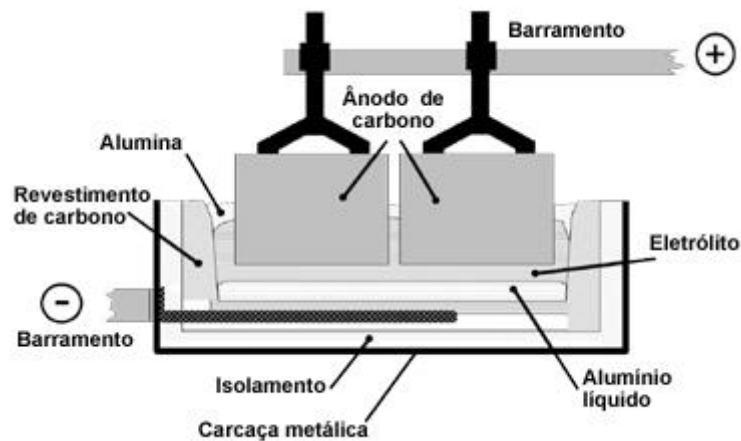


Figura 2.1.2.1- Processo Hall-Héroult

Neste processo, a alumina é dissolvida em um banho de criolita fundida e fluoreto de alumínio a baixa pressão, em seguida o oxigênio existente combina-se com os ânodos de carbono e o alumínio líquido precipita no fundo da cuba que então é transferido para fusão através dos cadinhos onde serão despejados para fundição nas estruturas primárias como lingotes, placas e tarugos. Para cada tonelada de alumínio obtido, são necessárias duas toneladas de alumina.

2.2. A lama vermelha

A lama vermelha é uma denominação genérica ao resíduo do processo Bayer, e tem esse nome devido a sua textura e coloração avermelhada conforme Figura 2.2.1.



Figura 2.2.1– (a) e (b) Lagoa de deposição na Índia, (c) Lagoa de deposição na França e (d) Lagoa de deposição no Maranhão – BR [04].

A composição química da LV tem como base o ferro, silicato e o titânio, além do alumínio que não foi extraído durante o refino. Esta composição varia de acordo com as propriedades da Bauxita extraída e com as particularidades dos processos em cada planta industrial. A Composição da LV brasileira, segundo Freitas (2003) é: 46,60% de Fe_2O_3 , 14,36% de Al_2O_3 , 16,57% de SiO_2 , 2,43% de Na_2O , 4,34% de TiO_2 , 0,08% de MgO e 2,62% de CaO .

Esta lama pode ser disposta no meio ambiente de duas formas, úmida e seca, sendo a seca que ocupa um menor volume de deposição. Estima-se que uma refinaria produz para cada tonelada de alumina produzida entre 0,5 e 2,0 ton de lama vermelha seca, onde quanto melhor for a qualidade da Bauxita (maior teor de alumínio) menor será a taxa de resíduo.

Há divergência quanto à toxicidade da lama vermelha, a *Environmental Protection Agency* [03] não classifica como um resíduo perigoso, entretanto, há autores que a consideram perigosa na devido sua elevada alcalinidade pH de 10,0 à 13,0 e capacidade de troca iônica.

Tais propriedades exigem alguns cuidados para este resíduo, que normalmente é despejado em uma lagoa artificial de forma a impedir o contato com lençóis freáticos e o meio ambiente de modo geral.

2.2.1. Aplicações da Lama vermelha

Ao longo das últimas décadas, com o grande aumento da produção de alumínio, há por consequência uma grande produção da lama vermelha, motivando pesquisadores de todo o mundo a buscar alternativas para o aproveitamento deste resíduo.

Em 2012, Samal, et. at. [18] demonstraram possíveis aplicações para LV. A Índia produz anualmente mais de 4 milhões de toneladas de LV a partir do processo Bayer para obtenção da Alumina, que atualmente são despejados no oceano ou em proximidades às usinas de tratamento.

Dentre as possibilidades, destacam-se: produção de cimento, aplicação como catalizador e principalmente a recuperação dos metais nobres da LV, como o ferro e o titânio, em uma série de processos e a utilização do resíduo desta LV na produção de materiais para construção civil.

Pérez-Villarejo, et. at. [17] também fizeram um estudo da utilização da LV para produção de tijolos a base de argila, concluindo como uma possível utilização e a composição que apresentou os melhores resultados foi com 50% de LV, baixa contração linear, e boa resistência à compressão, aproximadamente 52 MPa.

Manfroi, et. at. [14], analisaram a composição e aplicabilidade da lama vermelha em compósitos de cimento.

Os resultados dos estudos feitos mostraram que a LV pode ser usado em substituição ao cimento numa razão de 15% para produção de compósitos de cimento, com propriedades mecânica e higroscópicas adequados para uso na construção civil.

Em 2007, Gök, et. at. [19], estudaram o compósito de Lama vermelha (LV) com diferentes percentuais de Polianilina (PANI), um compósito que apresenta alta condutividade elétrica. O objetivo do estudo foi analisar a possibilidade de utilizar-se este tipo de compósitos para produção de LEDs, baterias e sensores de gás.

A utilização da lama vermelha como uma possibilidade mais barata e ecológica para produção de um compósito condutor, obtendo-se uma condutividade de 0,42 a 5,2 ($\Omega \times \text{cm}$)⁻¹, que aumenta em função da quantidade de PANI e possui uma maior estabilidade térmica quando há 24% da massa de PANI, podendo atingir até 125°C.

Jian He, et. at. [11], desenvolveram, em 2012, um estudo com o propósito de caracterizar as propriedades de um compósito obtido a partir de dois resíduos, a casca de arroz e a lama vermelha.

Apesar de em alguns casos eles terem obtido uma estrutura com uma resistência equivalente a de um compósito de cimento, possibilitando a utilização na construção civil, alguns obstáculos foram encontrados, como a variabilidade das matérias primas, o longo tempo de cura do compósito e o grau de incerteza das reações de geopolimerização, tornam o projeto até o momento inviável.

2.3. Polímeros

Os polímeros (do grego, poli= muitas e meros= partes), são macromoléculas são formadas pela repetição de pequenas unidades estruturais conhecidas como monômero (do grego, mono =um), em sua longa cadeia principal.

Os polímeros naturais sempre estiveram presentes na natureza, como o amido, celulose e até mesmo a proteína presente no corpo humano. Já no século XX, o pioneiro no estudo dos polímeros, o químico alemão Hermann Staudinger (prêmio Nobel de química em 1953, é considerado o pai dos polímeros), descobriu o processo de polimerização assim, a síntese deixou de ser um fenômeno puramente natural e passou a ser produzido industrialmente.

Os polímeros podem ser divididos quanto ao comportamento ao calor em:

- **Termoplásticos:** plásticos que podem ser reversivelmente aquecidos e resfriados. Alguns podem ser dissolvidos em solventes. Sofrem grande influência da temperatura e dependendo do monômero podem ser rígidos ou maleáveis em temperatura ambiente.
- **Termorrígidos:** Fundem quando são aquecidos e neste processo sofrem reações químicas que geram a formação de ligações cruzadas intermoleculares, tornando-os em uma estrutura reticulada, infusível e insolúvel. São os mais estáveis a variação de temperatura.

2.4. Compósitos

Os compósitos constituem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ou não ser polimérico, onde um dos componentes, descontínuo tem a finalidade de aferir propriedades mecânicas ao meio contínuo que tem a função de transferir estas

propriedades. Ambos os componentes não são dissolvidos ou descaracterizados completamente, no entanto, atuam em conjunto para elevar as propriedades da nova estrutura, que é superior à de cada componente individualizada.

2.5. Propriedades mecânicas dos materiais

Na engenharia mecânica, a escolha de um material é um dos pontos cruciais para o projeto, e esta se deve a combinação das propriedades desejadas no projeto. A maioria das propriedades mecânicas pode ser obtida direta ou indiretamente a partir de ensaio mecânico realizado em corpo-de-prova (CP).

Os polímeros possuem algumas características mecânicas que diferem bastante dos metais e ademais possuem grandes dependências da temperatura, taxa de deformação e natureza química do ambiente.

A seguir algumas características e propriedades tipicamente dos metais que em alguns casos podem ser aplicados aos polímeros. Análises específicas aos polímeros serão tratadas no tópico 2.6.

2.5.1. Ensaio de Tensão-Deformação

Os ensaios de tensão-deformação podem ser utilizados para avaliar diversas propriedades mecânicas da amostra. Estes ensaios podem ser realizados de duas maneiras distintas, a primeira por tração e a segunda por compressão.

2.5.1.1. Ensaio de Tração

A partir de uma amostra do material a ser analisado, é confeccionado um corpo-de-prova, normalmente de seção circular, de acordo com as dimensões da Figura 2.5.1.1.1 abaixo, de acordo com a norma ASTM E 8 e E 8M.

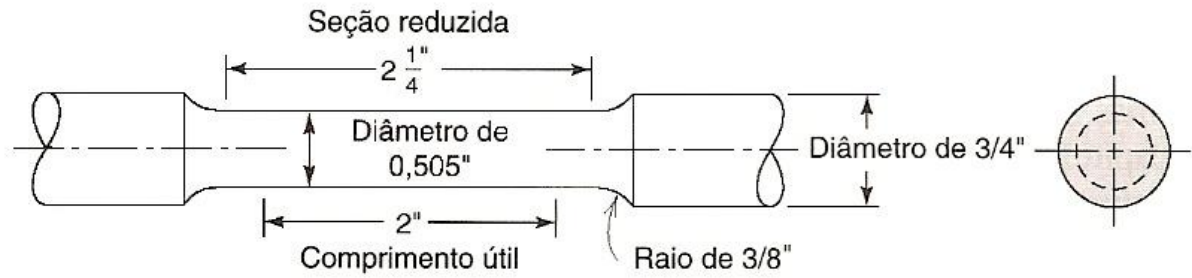


Figura 2.5.1.1.1– Corpo-de-prova padrão para ensaios de tração com seção transversal circular [06].

O CP é fixado pelas extremidades (maior diâmetro) na máquina de tração e submetido a uma força trativa. Esta força é convertida em tensão pela fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.1)$$

onde F é a carga instantânea aplicada em uma direção perpendicular à seção transversal e A_0 é a área inicial* da seção transversal de menor diâmetro. Como a Tensão (σ) é inversamente proporcional à área, nesta configuração de CP, o alongamento ficará concentrado na parte do comprimento útil.

A máquina de tração aplica uma força gradual sobre o CP, normalmente até atingir a fratura, e extensômetros são posicionados para avaliar o alongamento do comprimento útil. Um exemplo de máquina de tração é representado na Figura 2.5.1.1.2.

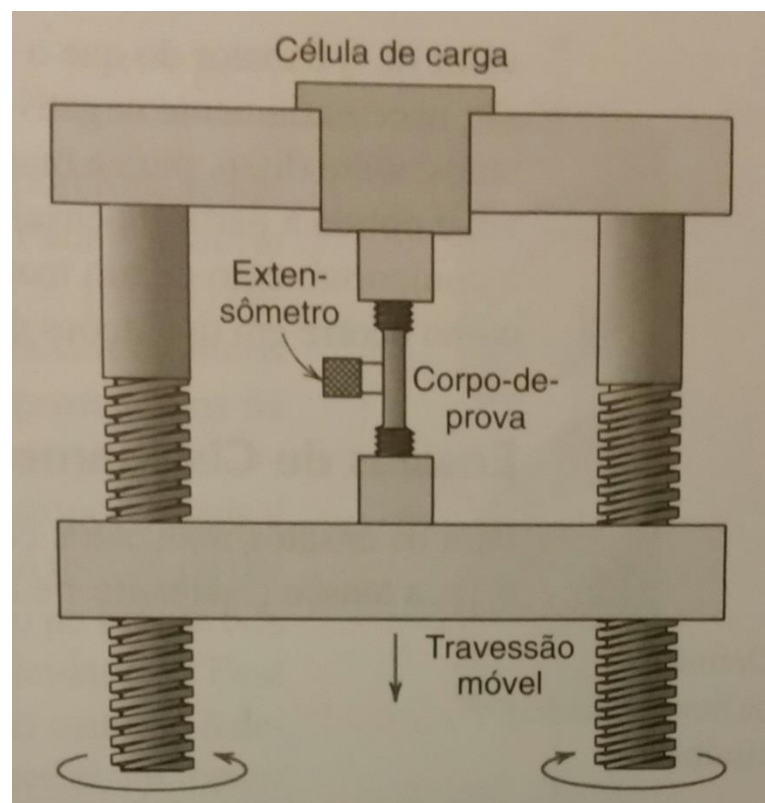


Figura 2.5.1.1.2– Representação esquemática de um ensaio de tração [06].

onde, l_i é o comprimento útil instantâneo e l_0 o comprimento útil inicial do CP.

- Modulo de elasticidade ou *módulo de Young*, é o coeficiente angular entre a tensão no regime elástico e a variação no comprimento.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (2.3)$$

- O material pode ser determinado quanto dúctil ou frágil um função da capacidade de deformar-se plasticamente até atingir a fratura. Pode-se observar a diferença entre o comportamento dos metais e os polímeros, conforme Figura 2.5.1.1.4.

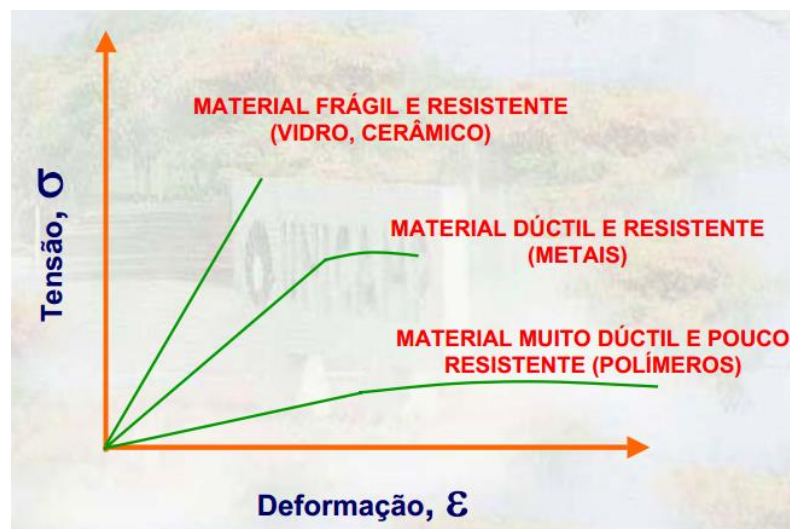


Figura 2.5.1.1.4– Gráfico Tensão x Deformação para diversos materiais [10].

2.5.1.2. Resiliência

A resiliência é a capacidade de um material absorver energia quando ele é deformado elasticamente e, depois da remoção da carga, permitir a recuperação desta energia. A propriedade associada é o *módulo de resiliência* (U_r), que é a energia de deformação por unidade de volume, medido desde a ausência de carga até o Limite de escoamento.

$$U_r = \int_0^{\epsilon_l} \sigma d\epsilon \quad (2.4)$$

Considerando-se os casos onde a região elástica é linear,

$$U_r = \sigma_l \epsilon_l \quad (2.5)$$

onde ϵ_l e σ_l é a deformação e a tensão no limite de escoamento respectivamente.

O cálculo de resiliência apresentado acima é aplicável aos metais, no entanto esta análise não pode ser realizada para os polímeros e compósitos poliméricos pois ao contrário dos metais que são materiais que seguem a lei de hook, onde a deformação é perfeitamente

elástica até o limite de escoamento, os polímeros são viscoelástico e possuem um módulo de perda. Assim, o ensaio realizado com este fim deve ser o DMA ou a análise termodinâmico mecânica (DTMA)

2.6. Análises Dinâmico – Mecânicas (DMA) e Termodinâmico – Mecânicas (DTMA)

Conforme explicado na seção anterior, os polímeros divergem dos metais no que tange à avaliação da capacidade de absorção de energia pois nos polímeros e outros materiais viscoelásticos, nem toda energia é recuperada, isto ocorre porque parte da energia é dissipada devido à resistência do material de deformar, de maneira análoga, é a viscosidade de um fluido que gera uma resistência ao escoamento do fluido, gerando assim uma perda de carga ou energia.

As análises de DMA e DTMA têm a finalidade de determinar este comportamento viscoelástico mencionado onde no DTMA permite avaliar estas propriedades em várias faixas de temperatura e obter por consequência outras propriedades como a temperatura de transição vítrea, que não é o foco do estudo.

Isto é possível, pois num analisador de DMA o corpo de prova é submetido à uma deformação (γ) cíclica, normalmente senoidal com uma frequência angular $\omega (= 2\pi f)$, e tem-se uma tensão de resposta (σ), uma vez conhecida a área. Esta tensão de resposta vai depender do comportamento do material.

Num corpo com comportamento elástico ideal a tensão de resposta ocorre em fase com deformação imposta. Em um corpo com comportamento viscoso ideal, a tensão de resposta estará defasado em $\pi/2$.

Para um carregamento senoidal,

$$\gamma = \gamma_0 \text{ sen}(\omega t) \quad (2.6)$$

a tensão resposta é

$$\sigma = \sigma_0 \text{ sen}(\omega t + \delta) \quad (2.7)$$

Onde,

$$E = \frac{\sigma}{\gamma} \quad (2.8)$$

Tem-se,

$$\sigma = E \gamma_0 \text{ sen}(\omega t + \delta) \quad (2.9)$$

Onde δ representa o ângulo de defasagem correspondente a parte viscosa, que varia de $(0 \leq \delta \leq \pi/2)$.

Aplicando-se a identidade trigonométrica $\text{sen}(A+B) = \text{sen}A \cos B + \text{sen}B \cos A$, obtém-se:

$$\sigma = \sigma_0 \text{sen}(\omega t) \cos(\delta) + \sigma_0 \cos(\omega t) \text{sen}(\delta) \quad (2.10)$$

O primeiro termo $\sigma_0 \text{sen}(\omega t) \cos(\delta)$ representa a parte elástica e o segundo termo $\sigma_0 \cos(\omega t) \text{sen}(\delta)$ a parte viscosa. Dividindo-se cada termo pela deformação exercida são obtidos os módulos de armazenamento (E') para o primeiro termo e de perda (E'') para o segundo termo:

$$E' = \frac{\sigma_0 \text{sen}(\omega t)}{\gamma_0 \text{sen}(\omega t)} \cos(\delta) \quad (2.11)$$

$$E'' = \frac{\sigma_0 \cos(\omega t)}{\gamma_0 \text{sen}(\omega t)} \text{sen}(\delta) \quad (2.12)$$

O módulo de perda será utilizado para comparar com a variação da energia potencial explicada nas seções a seguir do experimento realizado. Para cada módulo há um coeficiente associado, tendo-se o coeficiente de armazenamento (c') e coeficiente de perda (c'')

2.7. Energia Mecânica

A definição de energia mecânica (E_m) é a capacidade de um corpo de produzir trabalho, assim quando um objeto estiver com capacidade de realizar um movimento, diz-se que ele possui uma determinada quantidade de energia mecânica associada.

A energia mecânica divide-se basicamente em dois tipos, a cinética e a potencial e a energia mecânica total é dada pela soma destas.

$$E_m = \sum E_{pg} + E_{cin} \quad (2.13)$$

2.7.1. Energia Potencial Mecânica

A energia potencial mecânica é a energia presente em um objeto, considerando-se sua localização. Pode-se chamar de energia potencial, a energia disponível no objeto, capaz de realizar trabalho, considerando-se sua localização relativa. Há dois tipos de energia potencial mecânica, a elástica e a gravitacional.

2.7.1.1. Energia Potencial Elástica

A energia potencial elástica está associada à energia armazenada durante a deformação elástica de um corpo. Esta energia é acumulada no corpo devido a uma deformação x , dada pela equação:

$$E_{el} = \frac{kx^2}{2} \quad (2.14)$$

onde k é o módulo de elasticidade do material, que está diretamente relacionado ao módulo de elasticidade e o limite de escoamento do material.

2.7.1.2. Energia Potencial Gravitacional

É dita como energia potencial gravitacional (E_{pg}), a energia associada a interação entre dois objetos sujeitos a um campo gravitacional. Como a constante gravitacional universal, a massa da terra e a distância terra x sol é considerada igual em qualquer ponto do planeta, a energia potencial gravitacional pode ser reduzida à:

$$E_{pg} = m \cdot g \cdot \Delta h \quad (2.15)$$

onde m , g e h , são a massa do objeto, a aceleração gravitacional na terra e a altura em função de um ponto de referência, respectivamente.

2.7.1.3. Energia Cinética

A energia cinética (E_{cin}) é a energia associada ao movimento de um objeto e depende da massa (m) e do módulo da velocidade (v) do objeto.

$$E_{cin} = \frac{mv^2}{2} \quad (2.16)$$

2.7.1.4. Energia Dissipada

A energia dissipada é a variação da energia mecânica.

$$E_d = \Delta E_m \quad (2.17)$$

2.7.2. Conservação da energia mecânica

Quando não há fontes dissipativas de energia, a energia mecânica total em dois estágios de um mesmo objeto é igual, ou seja, num caso onde um objeto é liberado de uma altura h_i , contendo apenas energia gravitacional, ao atingir o h_0 , manterá a mesma energia mecânica associada, porém neste instante a energia potencial será zero e a energia cinética máxima.

2.8. Vibrações Mecânicas

Para o projeto em questão, é fundamental o conhecimento sobre vibrações mecânicas pois um dos métodos para obter os valores da capacidade de absorção de energia e o coeficiente de perda dos polímeros são provenientes das simplificações feitas para os sistemas vibracionais.

Um corpo rígido pode ser substituído, de maneira bem aproximada, por um conjunto massa- mola onde esta mola representa a constante de rigidez do material k_m em [N/m] que pode ser obtido pela equação,

$$k_m = \frac{EA}{l} \quad (2.18)$$

Onde ‘E’ representa o módulo de elasticidade, ‘A’ a área superficial e ‘l’ a altura do corpo rígido.

Num sistema de vibração simples, as molas e amortecedores, estão constantemente conectados, e a possui uma frequência constante.

No capítulo 4, será demonstrado que o movimento parabólico gerado pela esfera durante os experimentos, para uma pequena quantidade de períodos, possui uma curva de decaimento próxima à curva de decaimento gerado por um sistema massa mola amortecido. Este comparação é experimental, não sendo evidenciado ainda, nenhum estudo sobre este tópico.

Num sistema vibracional amortecido, as resultantes das forças são determinadas a partir da aplicação da segunda lei de Newton,

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = 0 \quad (2.19)$$

Onde ‘k’ é o módulo de elasticidade (N/m) e ‘c’ representa a constante de amortecimento (N/m.s⁻¹) do conjunto, em outras palavras, é o coeficiente da energia dissipada de outras formas pelo conjunto.

A frequência natural (ω_n) do sistema depende exclusivamente da massa e o módulo de elasticidade do sistema, sendo representado pela equação 2.20,

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = [\text{rad/s}] \quad (2.20)$$

Para sistemas com amortecimento, tem-se também a frequência de vibração amortecida (ω_d) que depende da frequência natural de vibração e a constante de amortecimento (c),

$$\omega_d = \sqrt{\frac{k}{m} - \frac{c^2}{4m^2}} \quad [\text{rad/s}] \quad (2.21)$$

A partir da equação 2.20 e 2.21, é possível descrever a equação de movimento de um sistema amortecido, de acordo com a equação,

$$x(t) = x_0 \cdot e^{-(c/2m)t} \cdot \cos(\omega_d t + \phi) \quad (2.22)$$

Onde x_0 = o deslocamento inicial e ϕ = é a defasagem em graus. Para este projeto o $\phi = 0$.

Outro conceitos muito importante em vibrações é a associação em série de molas e amortecedores,

$$\frac{1}{k_{eq}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i} + \frac{1}{k_n} \quad (2.23)$$

$$c_{eq} = \sum_{i=1}^n c_i + c_n \quad (2.24)$$

2.9. Análises de propriedades poliméricas

Felisberti Maria, et. at. [09] realizaram análises de DMA para avaliar o comportamento de polímeros e blendas poliméricas. Ao final dos estudos concluíram que além de obter-se informações sobre o comportamento viscoelástico do material, é possível determinar a transição vítrea e propriedades acústicas que são relacionadas a área sob a curva de $\tan \delta$.

Luna Carlos [13], avaliou através de análises de DTMA, as propriedades da mistura poliamida 6 e borracha reciclada, com aditivo um compatibilizante, para aplicação industrial.

Apesar da resistência ao impacto e a temperatura de deflexão térmica terem reduzido um pouco, a utilização na indústria ainda é viável para casos onde exige-se menos do material, retirando assim um material nocivo do ambiente.

Oliveira Raiza, et at. [08], desenvolveram um estudo avaliando a absorção de energia em compósitos com matriz PTFE, através da variação da altura de rebote de esferas porém em alguns casos o desvio padrão foi maior que 50% ficando assim os dados pouco precisos.

Capítulo III

3. Materiais e métodos

3.1. Materiais utilizados

Para a realização deste estudo foram utilizados dois polímeros distintos como matriz. Um deles, a resina poliéster insaturada (UPR - Unsaturated Polyester Resin) PolyLite 10316-10, fornecido pela Reichhold, que tem como características uma boa resistência a bolhas osmóticas e a molhabilidade das fibras. Esta resina foi pré-acelerada pelo próprio fabricante com a adição de cobalto e polimerizada a partir da adição de peróxido de metil-etil-cetona (2phr).

A outra resina empregue como matriz foi o epóxi (ER- Epoxy Resin) MD-131, oriundo da EpoxyFiber, que tem como base o éter diglicídico de bisfenol A e um endurecedor de amina alifática, esta resina epóxi é caracterizada por uma baixa viscosidade, sendo processada com uma razão máxima de mistura para com o endurecedor de 05:01. As propriedades das resinas poliéster insaturada e epóxi fornecidas pelos respectivos fabricantes são apresentados na Tabela 3.1-1.

Tabela 3.1-2 - Propriedade das resinas poliéster insaturada e epóxi.

Propriedade	Poliéster	Epóxi
Viscosidade a 25°C $\mu(cP)$	250 a 350	12000 a 13000
Densidade $\rho(Kg/m^3)$	1090	1160
Temperatura de Distorção Térmica ($^{\circ}C$)	85	50
Resistência à flexão (MPa)	45	60
Resistência à tração (MPa)	40	73
Alongamento máximo (%)	1	4

Os resíduos de lama vermelha utilizados neste estudo foram fornecidos pela ALUNORTE S/A, (Barcarena, PA) que é o maior fabricante de alumina do mundo [9].

É de consenso que a composição química da lama vermelha varia consideravelmente devido a diferentes fatores, mas por vezes considera-se que é composta principalmente por

dióxido de silício (SiO_2), alumina (Al_2O_3), óxido férrico (Fe_2O_3), óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio [MgO], dióxido de titânio (TiO_2), trióxido de enxofre (SO_3) com vestígios de V, Ga, P, Mn, Mg, Zn, Th, Cr e óxidos de Nb [46]. A análise de raio X por difração (XRD) da lama vermelha apresentada neste estudo é mostrada na Figura 3.1.1.

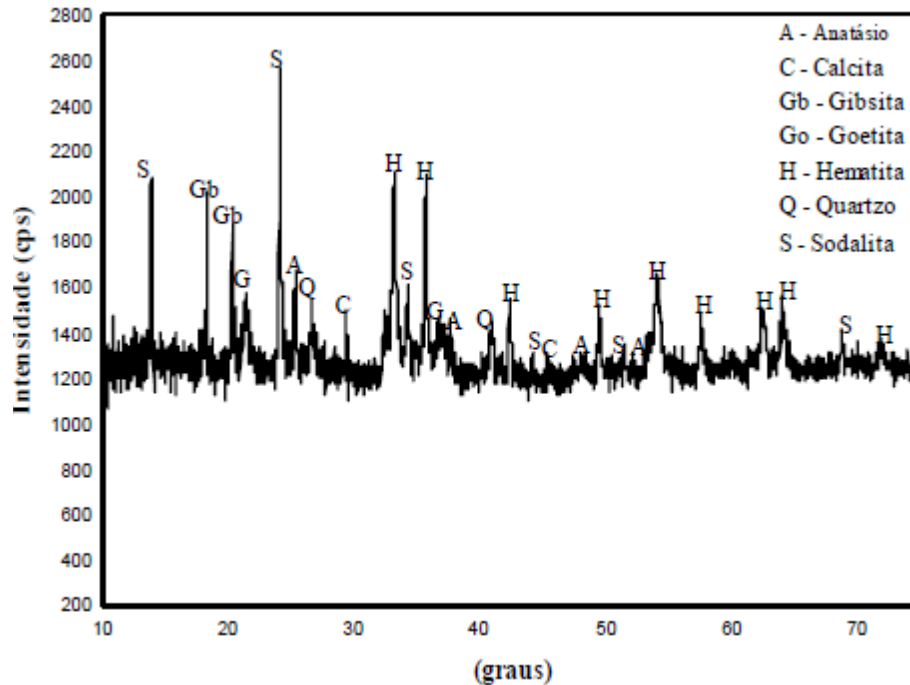


Figura 3.1.1- Análise de XRD da lama vermelha.

Assim, os compósitos utilizados neste trabalho, são provenientes da mistura, das matrizes da resina poliéster insaturada e da resina epóxi juntamente com diferentes concentrações, no caso 5%, 15% e 25% em peso de lama vermelha, apresentada na Figura 3.1.2, sendo que o teor máximo de lama utilizado foi definido em 25% pela capacidade da mistura de escoar pelos moldes.



Figura 3.1.2- Lama vermelha utilizada para fabricação dos compósitos

3.2. Confeção dos moldes

Para a confecção das amostras, foi utilizada a moldura apresentada na Figura 3.2.1, que fora confeccionada a partir de uma placa de estanho usinada com orifícios circulares, para a acomodação das amostras, e um canal de escoamento por onde foi vertida a mistura líquida.



Figura 3.2.1- Moldura utilizada para confecção das amostras.

A primeira etapa do processo para a confecção dos compósitos é a secagem, que consiste em colocar a lama vermelha em uma estufa a temperatura de 120°C durante 24 horas, objetivando assim a remoção da umidade, uma vez que a lama é capaz de absorver uma quantidade significativa de vapor de água a partir do ar atmosférico. A secagem é um procedimento de suma importância uma vez que o poliéster insaturado e o epóxi são polímeros hidrofóbicos.

O segundo passo, é a preparação do molde, composto pela moldura metálica colocada de maneira centralizada entre duas placas de vidro fixadas por grampos. Estas devem ser minuciosamente limpas após a preparação de cada grupo de amostra, para evitar contaminação destas por resíduos deixados por experimentos anteriores. Feito isto, deve-se aplicar sobre as superfícies internas do molde uma cera desmoldante (fabricada pela Fiberglass).

Após a aplicação do desmoldante no molde, este é montado e suas extremidades são vedadas com massa de modelar evitando assim, que a mistura vaza-se.

Finalizada a secagem da lama vermelha, esta é adicionada à resina líquida, respeitando-se o percentual de lama para cada grupo de amostra. Em seguida é realizada a

mistura com auxílio de um agitador, homogeneizando a amostra e minimizando a precipitação de lama vermelha em partes do corpo de prova.

Após a homogeneização da resina com o respectivo percentual de lama vermelha, é adicionado um agente catalisador e misturado manualmente, com auxílio de uma haste de vidro e, por fim, o compósito líquido é derramado no molde.

A cura dos corpos de prova deu-se à temperatura ambiente, por um período de 24 horas, quando foram desmoldados. Uma fina barra de material interligava os corpos de prova após o seu desmolde, gerada pela deposição da mistura nos canais de escoamento, havendo então a necessidade de seccionar estas sobras com o auxílio de uma serra de fita.

Após o desmolde, os corpos de prova passam por um acabamento superficial, sofrendo o processo de lixamento, com o auxílio de uma ferramenta rotativa de alta velocidade, objetivando minimizar as imperfeições superficiais e geométricas, que poderiam alterar os resultados dos testes.

Na forma final as amostras possuíram um formato cilíndrico apresentando dimensões aproximadas de 51 mm de diâmetro (d) e 12 mm de espessura (H), demonstrado na Figura 3.2.2.



Figura 3.2.2- Corpo de prova acabado

3.3. Projeto do equipamento de análise

Para realizar a análise experimental, fez-se necessário projetar um equipamento para execução dos testes. Para este equipamento, os pré requisitos básicos são:

- Ser de material translúcido;
- Possuir altura de no mínimo 1 metro para facilitar a avaliação do movimento da esfera;

- Capaz de comportar as dimensões do corpo de prova;
- Possuir um mecanismo de acionamento para liberar as esferas sem a adição de qualquer energia externa;
- Faixa milimetrada para aferir as alturas de lançamento e rebote das esferas.

Levando-se em consideração as restrições apresentadas, o material escolhido foi o acrílico por ser transparente e possuir boa ductilidade, uma vez que está sujeito a impactos e também por apresentar resistência mecânica que atende o requisito.

A Figura 3.3.1 abaixo é a base do equipamento sem a fita milimétrica.



Figura 3.3.1- Base do equipamento de lançamento.

Para esta parte do equipamento, foi utilizado um tubo acrílico, de 3,5 polegadas (88,9mm) com 3 mm de parede e 1050 mm de altura. A base também acrílico com 285mm x 170mm x 10mm (comprimento x largura x espessura).

A primeira etapa da construção desta parte do equipamento consistiu em abrir um furo

na chapa de base com uma serra copo de 3,5 polegadas, enquanto no tubo foi lixado para obter um corte perpendicular. Aberto o furo, o tubo no furo da chapa, sobre uma película plástica com óleo em uma superfície plana e lisa.

Para união entre as duas partes utilizou-se uma cola epóxi, que possui boa umectação permitindo preencher o espaço entre o tubo e a chapa, com boa adesão e propriedades mecânicas finais.

Para a escala milimétrica, foi utilizado uma fita de trena colada com epóxi na parte interna do tubo.

A parte do mecanismo de acionamento está representado na Figura 3.3.2 foi projetado com auxílio do programa *Solid Works*, e impresso em uma impressora 3D.

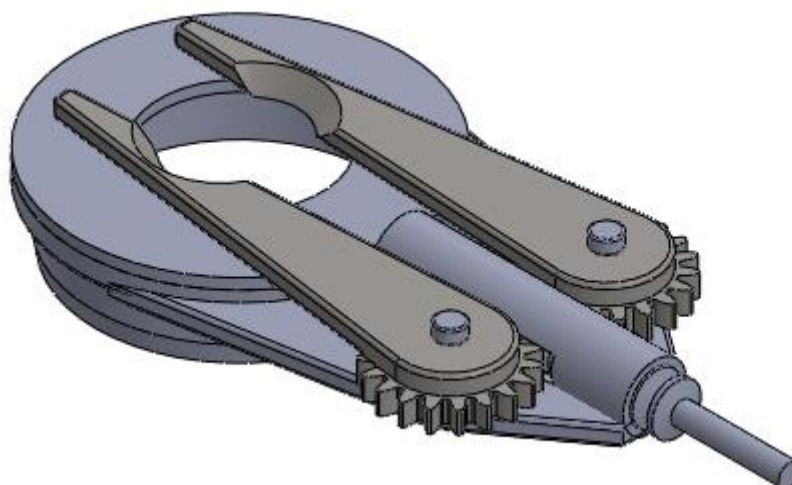


Figura 3.3.2- Mecanismo de liberação das esferas

O mecanismo de liberação da esfera tem as dimensões para encaixar na parte superior do tubo, um chanfro para facilitar o posicionamento das esferas, uma dentro do tubo onde há o pino de acionamento para manter os braços de alavancas fechados até o momento de liberação das esferas. Os desenhos de fabricação e montagem estão em anexo.

3.4. Análise termodinâmico mecânico (DMA)

As análises térmicas dinâmico-mecânicas foram realizadas no equipamento de DMA NETSCH5 DMA 242 D, do Laboratório do Departamento de Termodinâmica –LATERMO - UFF. O equipamento foi operado no modo flexão em três pontos, a uma frequência de 1Hz, taxa de aquecimento de 5°C/min, intervalo de temperatura de 30 a 180°C e dimensões aproximadas das amostras de 40 x 12 x 3,65mm. Foram registrados gráficos de módulo de armazenamento (E'), módulo de perda (E'') de tangente de perda ($\tan \delta$), coeficiente de perda

(c'') e coeficiente de armazenamento (c') em função da temperatura.

3.5. Procedimento de teste

Conforme explicado anteriormente, a avaliação realizada consiste em liberar uma esfera sobre o corpo de prova (compósito com diferentes percentuais de L.V.), e verificar qual a altura máxima atingida após a colisão entre a esfera e o corpo de prova. No entanto, é necessário conhecer previamente as propriedades de cada uma das 3 esferas utilizadas no experimento.

O sistema pode ser resumido a um conjunto massa – amortecedor – mola da esfera, ligado em série ao subsistema massa – amortecedor – mola do corpo de prova. Assim é possível avaliar as propriedades do subsistema da esfera independente do subconjunto do corpo de prova.

Para identificar o coeficiente elástico aproximado de cada esfera, estas foram liberadas no sistema projetado, apresentado nas figuras 3.3.1. e 3.3.2. e verificado a altura de retorno máximo em cada. As esferas foram liberadas por pelo menos 3 vezes, permitindo identificar a altura de retorno após a colisão com o solo. Nos casos onde por alguma eventualidade a esfera colidiu com a lateral do tubo, o resultado foi descartado, realizando nova análise.

O tempo de queda e retorno de cada esfera é muito curto porque a aceleração atuante é a gravidade. Desta forma, com intuito de identificar a altura de retorno máxima, foi instalada uma filmadora digital, com capacidade de resolução de 16 Megapixel e filmagem em 30 quadros por segundo. Esta filmadora foi instalada à 1,5 metros na horizontal e 0,5 metros de altura em relação ao solo.

Para realizar o processamento do vídeo quadro a quadro, utilizou-se o programa computacional *Classic Media Player* (MPC-HC), onde o vídeo é reproduzido quadro a quadro identificando-se os instantes críticos das alturas máximas em cada retorno, obtendo-se os pontos da equação de movimento (eq. 2.22). Com esses dados em diferentes instantes, foi possível determinar o coeficiente elástico e o coeficiente de amortecimento de cada esfera.

Para avaliação dos corpos de prova o procedimento foi exatamente igual. A única diferença é que neste segundo caso há dois subsistemas em série, assim os resultados são de um coeficiente elástico e de amortecimento equivalentes.

Destes coeficientes equivalentes, subtraem-se os resultados obtidos no subsistema das esferas e assim deduzindo os valores do coeficiente elástico e de amortecimento de cada corpo de prova.

Capítulo IV

4. Experimentos

4.1. Seleção das esferas

Primeiramente foi realizado um teste inicial com várias esferas, com o objetivo de selecionar ao menos três esferas, com diferentes coeficientes de amortecimento e elástico, sendo homogêneas ou seja, apresentando alta repetitividade nos resultados, independente do ponto de colisão, apresentando assim os mesmos coeficientes em todo o volume.

A Figura 4.1.1 abaixo presente as esferas utilizadas neste primeiro teste.



Figura 4.1.1- Esferas utilizadas no primeiro teste.

Após este primeiro teste, várias esferas foram descartadas por não apresentarem uma estrutura homogênea e com isso os retornos obtidos tornaram-se dispersos e sem repetitividade, tornando impraticável a avaliação da variação de energia potencial.

Neste primeiro instante observou-se que a repetitividade está associada à homogeneidade das esferas. Outras esferas foram desconsideradas por possuírem características muito próximas à outra.

Assim, ao final desta etapa, foram selecionadas as três esferas ilustradas na Figura 4.1.2.

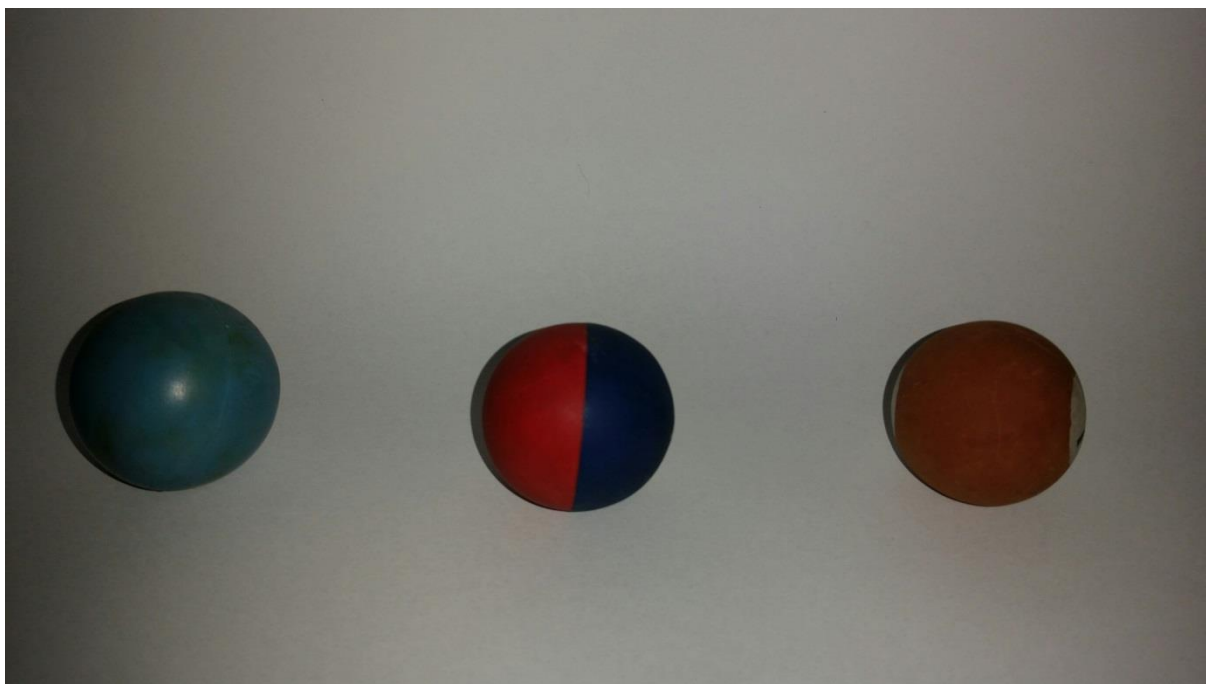


Figura 4.1.2- Esferas selecionadas para os experimentos.

Onde a esfera azul (da esquerda), com maior coeficiente de elasticidade será denominada de Esfera 1 (E1), a azul e vermelha (do centro) com um coeficiente de elasticidade intermediário será a Esfera 2 (E2) e por último, a esfera marrom (da direita) com o menor coeficiente será a Esfera 3 (E3).

As esferas selecionadas possuem a mesma dimensão, 1 polegada (25,4 mm) e massas variadas, E1 – 15,2 g; E2 – 17,6 g e E3 – 18,4 g.

4.2. Mudanças iniciais do mecanismo

O mecanismo apresentado no item 3.3 foi devidamente posicionado sobre um piso cerâmico e com o auxílio de um nível e prumo, verificado o nivelamento e o perpendicularidade em relação ao solo.

Ao iniciar o primeiro experimento com o sistema, foram encontrados dois problemas críticos.

O primeiro, com o propósito de limitar a interferência do vento durante os testes, não foi considerado nenhum orifício na parede do tubo. Desta forma, para retirar as esferas havia a necessidade de retirar todo o mecanismo e em seguida reposiciona-lo como detalhado

acima. Para facilitar e agilizar o processo, foi criado um orifício com 2 polegadas (50,4mm) de diâmetro próximo à base.

O segundo problema encontrado, é que apesar do mecanismo de liberação ser simétrico, o mesmo gera um movimento horizontal ou de rotação nas esferas, refletindo num movimento inclinado em relação ao eixo vertical, resultando na colisão das esferas com a parede do tubo, comprometendo o experimento.

A solução encontrada para este segundo ponto crítico, foi substituir o mecanismo de liberação por uma bomba de vácuo, com um terminal cônico onde o diâmetro do bocal é inferior ao diâmetro da menor esfera, de modo a sustentar a esfera pela parte superior e com a interrupção do vácuo, a esfera perde a sustentação e parte do repouso em queda livre, numa normal à base.

A Figura 4.2.1 ilustra o mecanismo com as modificações citadas acima.



Figura 4.2.1- Mecanismo com alterações iniciais.

4.3. Primeiro experimento

Considerando o piso como um corpo rígido padrão, este primeiro experimento considera um sistema massa-mola com amortecimento, representado esquematicamente na Figura 4.3.1. As esferas são liberadas a partir do repouso, a uma altura de 1020 mm, filmando para posterior processamento das imagens e identificação dos pontos de retorno máximo.

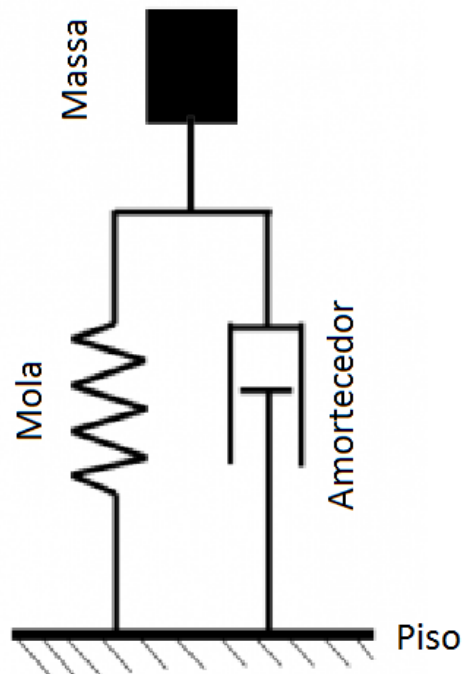


Figura 4.3.1- Sistema massa mola com amortecimento.

Após o processamento das imagens extraídas das filmagens, de ao menos três testes, são determinados os pontos máximos.

A Figura 4.3.2 demonstra a seleção de várias imagens dos pontos máximos em diferentes instantes e esferas.

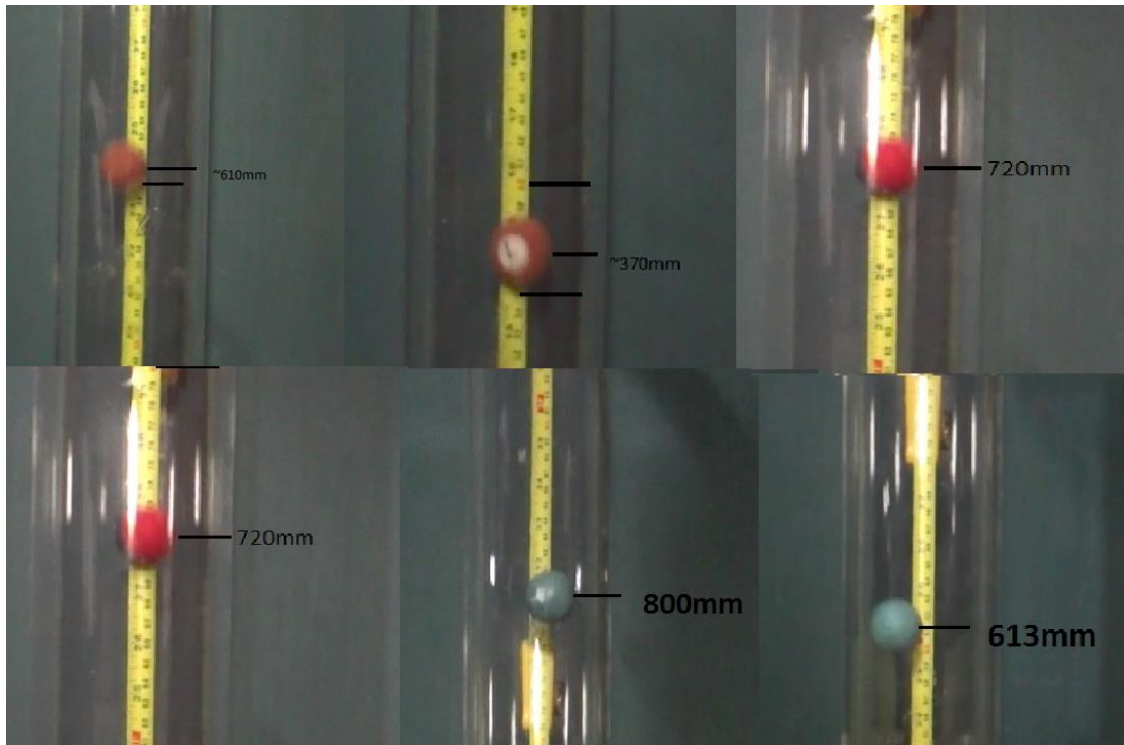


Figura 4.3.2- Imagens de pontos máximos em diferentes esferas e instantes.

Com os dados das alturas do primeiro retorno (h_1) segundo (h_2) e terceiro (h_3) a partir de uma altura inicial (h_0) para cada uma das análises (A1; A2; A3) de cada esfera, são inseridas em uma tabela do *Excel*, onde é extraída a média (*Med*) e o desvio padrão (*s*) de cada ponto.

A média pode ser obtida pela equação,

$$Med = \sum_{i=1}^n \frac{A_i h_i}{n} \quad (4.1)$$

E o desvio padrão utilizando a equação,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.2)$$

Os dados obtidos das esferas E1, E2 e E3, neste experimento estão representados nas Tabelas 4.3.1 à 4.3.3 respectivamente.

Tabela 4.3-1 - Resultados do Experimento 1 da E1

Experimento 1 - E1				
	h0(mm)	h1(mm)	h2(mm)	h3(mm)
A1	1020	755	540	420
A2	1020	750	550	430
A3	1020	750	550	410
s	0	2,36	4,71	8,16
Med	1020	751,7	546,7	420

Tabela 4.3-2 - Resultados do Experimento 1 da E2

Experimento 1 - E2				
	h0(mm)	h1(mm)	h2(mm)	h3(mm)
A1	1020	612	370	215
A2	1020	615	370	217
A3	1020	610	372	215
s	0	2,05	0,94	0,94
Med	1020	612,3	370,7	215,7

Tabela 4.3-3 - Resultados do Experimento 1 da E1

Experimento 1 - E3				
	h0(mm)	h1(mm)	h2(mm)	h3(mm)
A1	1020	720	510	350
A2	1020	720	530	355
A3	1020	721	520	355
s	0	0,47	8,16	2,36
Med	1020	720,3	520	353,3

Com os dados médios obtidos, determina-se as condições iniciais da equação (2.19), aplicando o conceito de conservação de energia.

No instante da liberação da esfera, a energia armazenada é a energia potencial gravitacional (eq. 2.15) e no instante antes da colisão com o piso toda a energia é convertida em energia cinética (eq. 2.16).

$$mgh_n = \frac{mv_n^2}{2} \quad (4.3)$$

$$\therefore v_n = \sqrt{2gh_n} \quad (4.4)$$

Onde h_n é a altura máxima do instante anterior à colisão e v_n a velocidade máxima referente à altura máxima anterior.

Considerando a aceleração da gravidade como $9,81\text{m.s}^{-1}$, determina-se a velocidade em cada colisão.

O tempo nos instantes de colisão e em cada ponto máximo pode ser determinado, utilizando a equação horária de velocidade.

$$v = at + v_0 \quad (4.6)$$

$$\therefore t = \frac{v-v_0}{a} \quad (4.7)$$

Onde a variação de velocidade será é a mesma obtida na eq. 4.4.

Inserindo estas equações numa planilha de *Excel*, obtém-se uma tabela completa com os valores de posição (x), velocidade (v) em função do tempo. As Tabelas 4.3.4 à 4.3.6 demonstram os valores dos dados da E1, E2 e E3 respectivamente.

Tabela 4.3-4 - Tabela de X(t) e V(t) - Experimento 1 -E1

Experimento 1 – E1								
	h0	hc	h1	Hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1020	0	751,7	0	546,7	0	420	0
V(t)[m.s1]	0	2,98	0	2,63	0	2,29	0	2,05
t[s]	0	0,46	0,85	1,24	1,57	1,91	2,20	2,49

Tabela 4.3-5 - Tabela de X(t) e V(t) - Experimento 1 -E2

Experimento 1 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1020	0	612,3	0	370,7	0	215,7	0
V(t)[m.s1]	0	4,47	0	3,47	0	2,70	0	2,06
t[s]	0	0,45	0,81	1,16	1,44	1,71	1,92	2,13

Tabela 4.3-6 - Tabela de X(t) e V(t) - Experimento 1 -E3

Experimento 1 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1020	0	720,3	0	520	0	353,3	0
V(t)[m.s1]	0	4,47	0	3,76	0	3,19	0	2,63
t[s]	0	0,46	0,84	1,22	1,55	1,87	2,14	2,41

Onde hc representa a altura onde ocorre a colisão entre as esferas e a superfície.

Com as posições encontradas nas Tabelas 4.3.4 à 4.3.6 (Tabela de $x(t)$ e $v(t)$ do experimento 1 de cada esfera), é possível gerar um gráfico pelo *Excel*, com as curvas de deslocamento e decaimento em função do tempo.

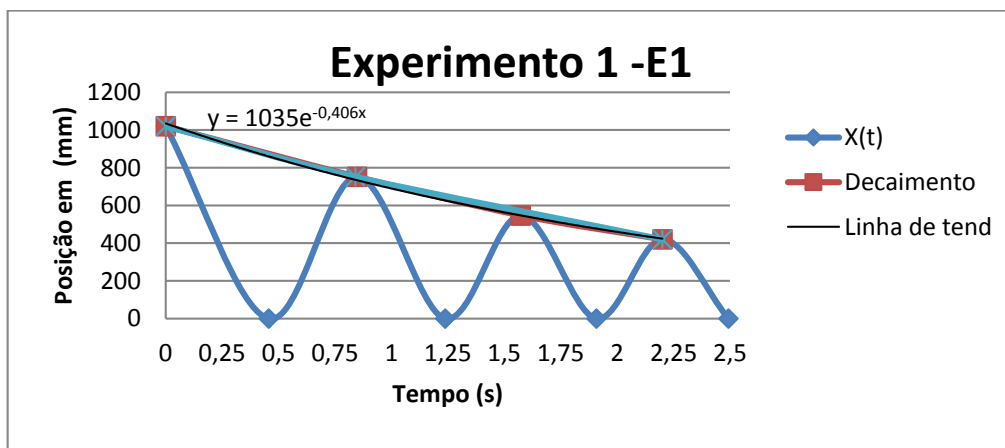


Figura 4.3.3 – Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do experimento 1 -E1.

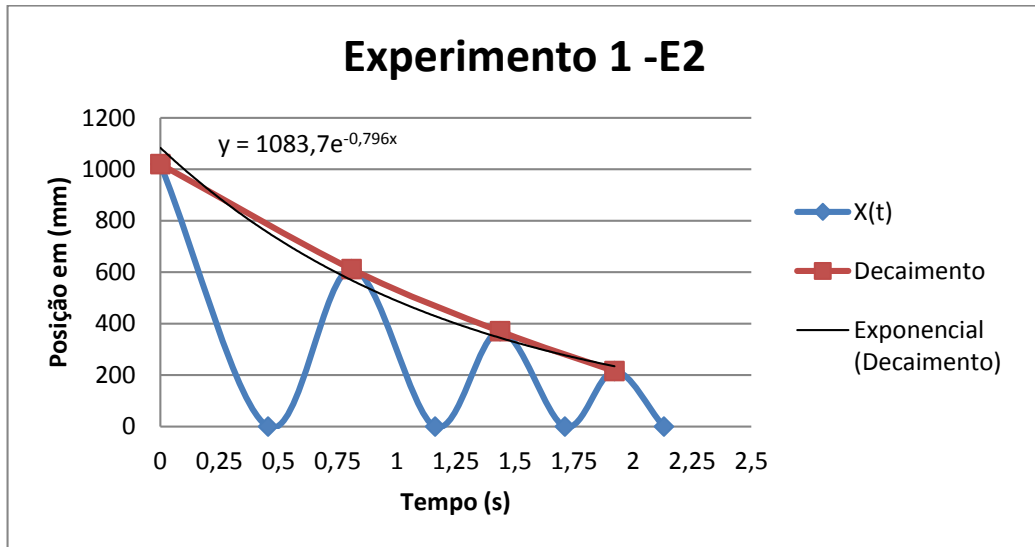


Figura 4.3.4– Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do experimento 1 –E2.

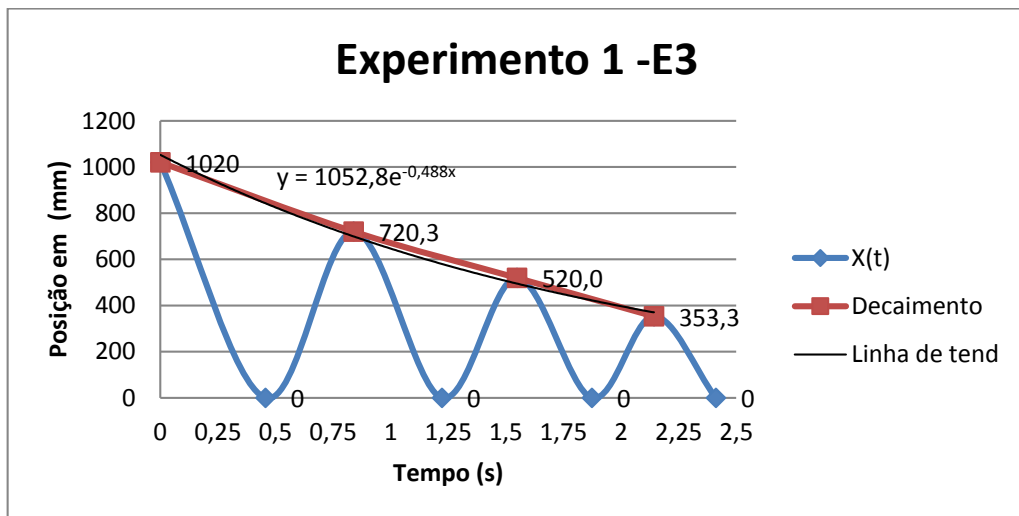


Figura 4.3.5– Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do experimento 1 –E3.

Conforme esperado, os gráficos apresentam uma característica polinomial devido à ausência do contato permanente com a mola e com o amortecedor como ocorre em um sistema vibracional padrão. Apesar disso, ao observar o decaimento destes gráficos foi realizado uma aproximação para um conjunto massa-mola. Conforme apresentado na equação 2.22. Assim, foi realizada uma analogia a uma curva senoidal par.

Como apresentado no capítulo II, o ensaio de DMA apresenta um coeficiente de perda (c'') associado à parte viscoelástica do material (parte amortecida). Utilizando o conceito de energia elástica, é possível associar a energia dissipada à energia potencial inerente à este coeficiente, obtendo-se, c''_{exp} na mesma unidade do coeficiente elástico

$$E_{el} = \frac{kx^2}{2} \approx E_d = \frac{c''_{exp}x^2}{2} \quad (4.8)$$

Onde a energia dissipada pode ser determinada pela variação da energia potencial entre cada período vibracional.

$$E_d = \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_{n-1} - h_n)} \quad (4.9)$$

A, Tabela 4.3.7 apresenta os coeficientes de perda experimental médios do sistema, em função das esferas.

Tabela 4.3-7- Coeficientes de perda experimental do Experimento 1

	c''_{exp} (N/m.s)
E1	1,01
E2	1,27
E3	1,09

4.4. Experimentos com Resina à base poliéster insaturada com Lama vermelha

Neste experimento, foram avaliadas as propriedades dos corpos de provas produzidos com resina a base de poliéster insaturada (R.P.I.) com adição de diferentes percentuais de L.V.

O corpo de prova foi fixado à superfície do piso com uma fita dupla face fina, compondo um sistema massa mola com amortecimento, contendo dois coeficientes de amortecimento e dois elásticos em série. Para estes experimentos, o ponto de origem do sistema de coordenadas é a superfície do corpo de prova que estará sujeita à colisão com as esferas.

4.4.1. Experimento R.P.I. 5%L.V.

O material avaliado neste experimento é a R.P.I. com adição de 5% de lama vermelha, denominado de (RP5).

Seguindo as mesmas etapas do primeiro experimento, seção 3 deste capítulo, obtém-se uma tabela completa para cada esfera, contendo as alturas de retorno máximas atingidas, a velocidade em cada ponto e o tempo. As Tabelas 4.4.1.1 à 4.4.1.3 apresentam os dados e resultados obtidos nas análises com as esferas E1, E2 e E3 respectivamente.

Tabela 4.4.1-1- Tabela de X(t) e V(t) - RPI5 – E1

RPI5 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1008	0	744	0	519	0	379	0
V(t)[m.s ⁻¹]	0	4,45	0	3,87	0	3,19	0	2,73
t[s]	0	0,45	0,84	1,23	1,56	1,88	2,16	2,44

Tabela 4.4.1-2- Tabela de X(t) e V(t) - RPI5 – E2

RPI5 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1008	0	731	0	557	0	390	0
V(t)[m.s ⁻¹]	0	4,45	0	3,79	0	3,30	0	2,77
t[s]	0	0,45	0,84	1,22	1,56	1,90	2,18	2,46

Tabela 4.4.1-3- Tabela de X(t) e V(t) - RPI5 – E3

RPI5 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
X(t)[mm]	1008	0	625	0	492	0	232	0
V(t)[m.s ⁻¹]	0	4,45	0	3,5	0	3,11	0	2,13
t[s]	0	0,45	0,81	1,17	1,48	1,80	2,02	2,23

Com os dados obtidos nas Tabelas 4.4.1.1 à 4.4.1.3 são gerados os gráficos de deslocamento em função do tempo apresentados nas Figuras 4.4.1.1 à 4.4.1.3 para as esferas E1, E2 e E3 respectivamente.

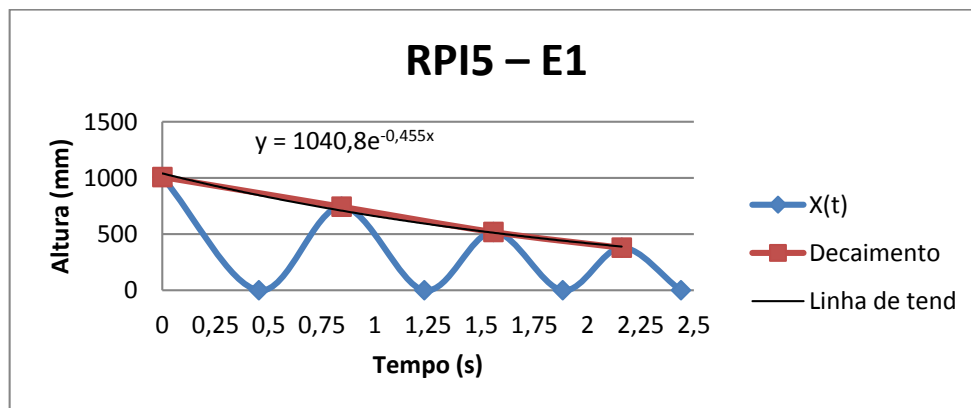


Figura 4.4.1.1- Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do RPI5 – E1.

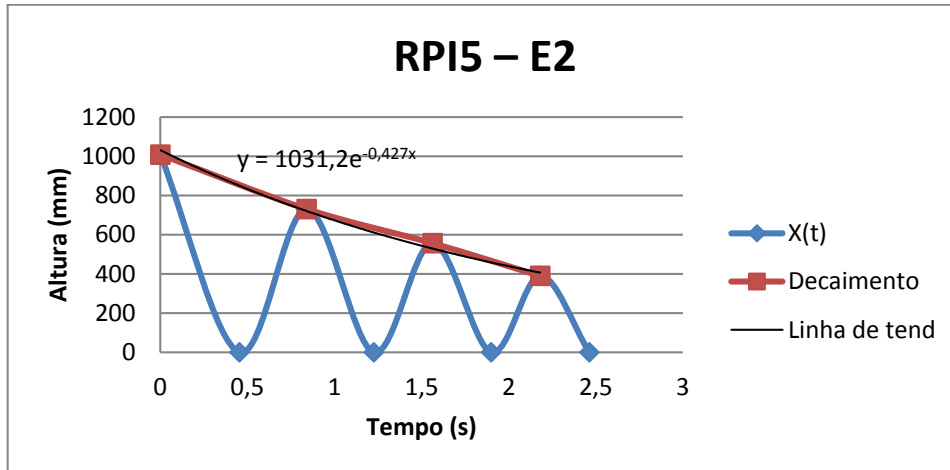


Figura 4.4.1.2- Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do RPI5 – E2.

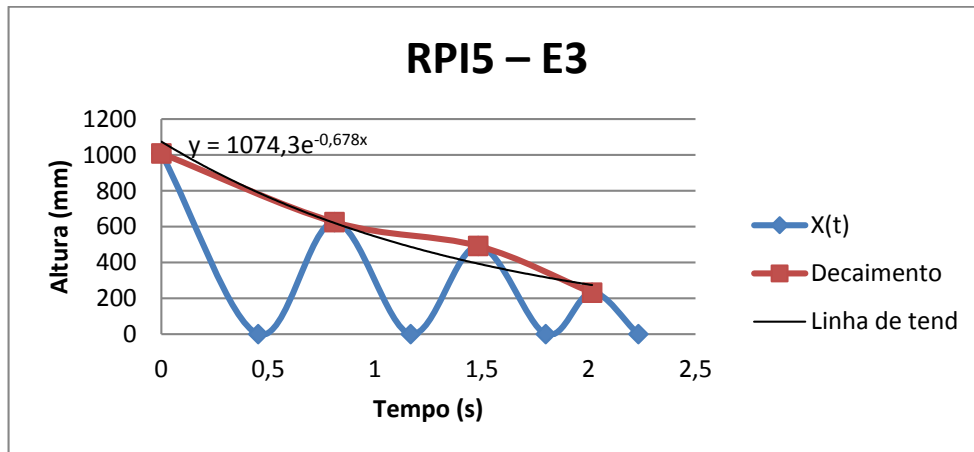


Figura 4.4.1.3- Gráfico de deslocamento com curva de decaimento do RPI5 – E3.

Analogamente à seção 3 deste capítulo, é possível obter os coeficientes de amortecimento equivalentes do sistema, conforme apresentado na Tabelas 4.4.1.4

Tabela 4.4.1-4- Coeficientes de perda experimental do Experimento 2

	c''_{exp} (N/m.s ⁻¹)
E1	1,05
E2	1,03
E3	1,20

Utilizando os conceitos de (c_{eq}) e (k_{eq}) apresentados no capítulo 2, é possível determinar o coeficiente de amortecimento e o coeficiente elástico do corpo de prova avaliado.

$$c_{Ex2} = c_{Ex1} + c_{RPI5} \quad (4.15)$$

$$C_{RPI5} = C_{Ex2} - C_{Ex1} \quad (4.16)$$

Onde C_{Ex1} é o coeficiente obtido no experimento 1, C_{Ex2} o coeficiente do segundo experimento e C_{RPI5} o coeficiente de amortecimento da resina poliéster insaturada reforçada com 5% de L.V., uma vez que C_{Ex2} é resultado da associação em série do sistema do experimento 1 com o sistema do RPI5.

Resolvendo as equações acima obtém-se o coeficiente de amortecimento do RPI5 considerando-se os parâmetros de três esferas distintas. A Tabela 4.4.1.5 representa os c_{rpi5} e k_{rpi5} para cada esfera, o resultado médio e desvio padrão.

Tabela 4.4.1-5 – Coeficiente de amortecimento da RPI com 5% de L.V.

	E1	E2	E3
Experimento 1	1,011002	1,271386	1,090363
Experimento 2	1,053664	1,039801	1,20366
RPI5	0,042662	-0,23158	0,113297
média		-0,02521	
desvio padrão		0,182183	

É possível observar que os métodos utilizados não podem ser aplicados pois neste caso, o coeficiente de amortecimento possui um desvio padrão muito alto e o coeficiente de amortecimento do RPI5 possui uma média negativa o que indica a geração de energia. Uma hipótese para que isto ocorra é devido à pequena massa que aplicada execute um esforço apenas na camada do piso ou do corpo de provas e por sua vez o piso cerâmico pode ter um coeficiente de absorção maior que o material estudado.

4.5. Experimento Sobre o Aço

Visto que não houve sucesso nos resultados na comparação entre os experimentos anteriores, optou-se por utilizar um novo método que compreende utilização de um tarugo de aço com 750 mm x 50,8 mm (h x d) com as faces polidas colado no solo, de modo que o mesmo não exerça nenhuma influência sobre a análise ao considerar que toda energia é dissipada apenas no tarugo.

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5-1 à 4.5-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5-1 – Resultados obtidos sobre o Aço para esfera 1

Aço – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	950	0	715	0	527	0	455	0
A2 (mm)	950	0	725	0	530	0	445	0
A3 (mm)	950	0	715	0	525	0	450	0
A_{med} (mm)	950,0	0	-718,3	0	527,3	0	-450,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,32	0	3,75	0	3,22	0	2,97
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,20	1,53	1,86	2,16	2,47
c'' (N/m.s)	-	0,987643	-	1,031302	-	0,765899	C_{med}	0,928281

Tabela 4.5-2– Resultados obtidos sobre o Aço para esfera 2.

Aço - E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	950	0	705	0	525	0	393	0
A2 (mm)	950	0	703	0	520	0	395	0
A3 (mm)	950	0	695	0	525	0	395	0
A_{med} (mm)	950,0	0	701,0	0	523,3	0	394,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,32	0	3,71	0	3,20	0	2,78
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,20	1,52	1,85	2,14	2,42
c'' (N/m.s)	-	1,023924	-	1,006876	-	0,992971	C_{med}	1,007924

Tabela 4.5-3– Resultados obtidos sobre o Aço para esfera 3.

Aço - E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	950	0	590	0	350	0	205	0
A2 (mm)	950	0	595	0	360	0	215	0
A3 (mm)	950	0	600	0	360	0	215	0
A_{med} (mm)	950,0	0	595,0	0	356,7	0	211,7	0
V_{med} (m/s)	0	4,32	0	3,42	0	2,65	0	2,04
t_{med} (s)	0	0,44	0,79	1,14	1,41	1,68	1,89	2,10
c'' (N/m.s)	-	1,222594	-	1,265804	-	1,275241	C_{med}	1,254546

4.5.1. Experimentos com Resina Poliéster com adição de L.V.

Nestes experimentos, foram avaliadas as propriedades dos corpos de provas produzidos com resina a base de poliéster insaturada (R.P.I.) com adição de diferentes percentuais de L.V.

Os corpos de prova foram fixados à superfície do tarugo de aço, com uma fita dupla face fina, compondo um sistema massa mola com amortecimento. Para estes experimentos, o ponto de origem do sistema de coordenadas é a superfície do corpo de prova que estará sujeita à colisão com as esferas.

4.5.1.1. Experimento R.P.I. com 5% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a R.P.I. com adição de 5% de lama vermelha, denominado de (RPI5).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as Tabelas 4.5.1-1 à 4.5.1-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.1.1-1 – Resultados obtidos para RPI com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + RPI5 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	720	0	535	0	425	0
A2 (mm)	938	0	725	0	530	0	425	0
A3 (mm)	938	0	720	0	530	0	420	0
A_{med} (mm)	938,0	0	721,7	0	531,7	0	423,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,76	0	3,23	0	2,88
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,20	1,53	1,86	2,16	2,45
c'' (N/m.s)	-	0,960484	-	1,026217	-	0,902802	C_{med}	0,963168

Tabela 4.5.1.1-2– Resultados obtidos para RPI com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + RPI5 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	697	0	515	0	381	0
A2 (mm)	938	0	690	0	510	0	383	0
A3 (mm)	938	0	695	0	515	0	383	0
A_{med} (mm)	938,0	0	694,0	0	513,3	0	382,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,69	0	3,17	0	2,74
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,51	1,84	2,12	2,40
c'' (N/m.s)	-	1,020055	-	1,020447	-	1,010339	C_{med}	1,016947

Tabela 4.5.1.1-3– Resultados obtidos para RPI com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + RPI5 – E3									
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc	
A1 (mm)	938		0	577	0	337	0	193	0
A2 (mm)	938		0	575	0	340	0	200	0
A3 (mm)	938		0	570	0	330	0	195	0
A_{med} (mm)	938,0		0	574,0	0	335,7	0	196,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0		3,36	0	2,57	0	1,96
t_{med} (s)	0	0,44	0,78		1,12	1,38	1,65	1,85	2,05
c'' (N/m.s)	-	1,245889	-		1,288748	-	1,290122	C_{med}	1,274919

4.5.1.2. Experimento R.P.I. com 15% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a R.P.I. com adição de 15% de lama vermelha, denominado de (RPI15).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5.1.2-1 à 4.5.1.2-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.1.2-1 – Resultados obtidos para RPI com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + RPI15 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	698	0	533	0	393	0
A2 (mm)	938	0	698	0	523	0	373	0
A3 (mm)	938	0	693	0	523	0	393	0
A_{med} (mm)	938,0	0	696,3	0	526,3	0	386,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,70	0	3,21	0	2,75
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,52	1,84	2,13	2,41
c'' (N/m.s)	-	1,015	-	0,988	-	1,031497	C_{med}	1,012

Tabela 4.5.1.2-2– Resultados obtidos para RPI com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + RPI15 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	713	0	533	0	393	0
A2 (mm)	938	0	703	0	503	0	383	0
A3 (mm)	938	0	703	0	513	0	373	0
A_{med} (mm)	938,0	0	706,3	0	516,3	0	383,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,72	0	3,18	0	2,74
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,19	1,52	1,84	2,12	2,40
c'' (N/m.s)	-	0,99394	-	1,0373	-	1,016403	C_{med}	1,015881

Tabela 4.5.1.2-3– Resultados obtidos para RPI com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + RPI15 – E3									
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc	
A1 (mm)	938		0	573	0	333	0	188	0
A2 (mm)	938		0	583	0	353	0	193	0
A3 (mm)	938		0	583	0	323	0	193	0
A_{med} (mm)	938,0		0	579,7	0	336,3	0	191,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0		3,37	0	2,57	0	1,94
t_{med} (s)	0	0,44	0,78		1,13	1,39	1,65	1,85	2,04
c'' (N/m.s)	-	1,236153	-		1,295822	-	1,313419	C_{med}	1,281798

4.5.1.3. Experimento R.P.I. com 25% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a R.P.I. com adição de 25% de lama vermelha, denominado de (RPI25).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5.1.3-1 à 4.5.1.2-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.1.3-1 – Resultados obtidos para RPI com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + RPI25 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	698	0	493	0	343	0
A2 (mm)	938	0	703	0	503	0	363	0
A3 (mm)	938	0	703	0	503	0	353	0
A_{med} (mm)	938,0	0	701,3	0	499,7	0	353,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,71	0	3,13	0	2,63
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,19	1,51	1,83	2,10	2,37
c'' (N/m.s)	-	1,004609	-	1,072471	-	1,083578	C_{med}	1,053553

Tabela 4.5.1.3-2– Resultados obtidos para RPI com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + RPI25 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	698	0	493	0	348	0
A2 (mm)	938	0	693	0	493	0	333	0
A3 (mm)	938	0	703	0	483	0	333	0
A_{med} (mm)	938,0	0	698,0	0	489,7	0	338,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,70	0	3,10	0	2,58
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,51	1,83	2,09	2,35
c'' (N/m.s)	-	1,011659	-	1,092656	-	1,113089	C_{med}	1,072468

Tabela 4.5.1.3– Resultados obtidos para RPI com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + RPI25 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	583	0	333	0	208	0
A2 (mm)	938	0	578	0	343	0	193	0
A3 (mm)	938	0	563	0	333	0	193	0
A_{med} (mm)	938,0	0	574,7	0	336,3	0	198,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,36	0	2,57	0	1,97
t_{med} (s)	0	0,44	0,78	1,12	1,38	1,64	1,84	2,04
c'' (N/m.s)	-	1,244747	-	1,288031	-	1,282682	C_{med}	1,27182

4.5.2. Com Resina Epóxi (EPO)

Neste experimento, foram avaliadas as propriedades dos corpos de provas produzidos com resina a base de Resina Epóxi (EPO) com adição de diferentes percentuais de L.V.

O corpo de prova foi fixado à superfície do tarugo de aço, com uma fita dupla face fina, compondo um sistema massa mola com amortecimento. Para estes experimentos, o ponto de origem do sistema de coordenadas é a superfície do corpo de prova que estará sujeita à colisão com as esferas.

4.5.2.1. Experimento EPO com 5% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a resina Epóxi com adição de 5% de lama vermelha, denominado de (EPO5).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5.1-1 à 4.5.1-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.2.1-1 – Resultados obtidos para EPO com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + EPO5 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	698	0	518	0	393	0
A2 (mm)	938	0	703	0	521	0	398	0
A3 (mm)	938	0	708	0	518	0	403	0
A_{med} (mm)	938,0	0	703,0	0	519,0	0	398,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,71	0	3,19	0	2,79
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,19	1,52	1,84	2,13	2,41
c'' (N/m.s)	-	1,001066	-	1,023206	-	0,965694	C_{med}	0,996655

Tabela 4.5.2.1-2– Resultados obtidos para EPO com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + EPO5 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	693	0	513	0	381	0
A2 (mm)	938	0	691	0	508	0	383	0
A3 (mm)	938	0	683	0	513	0	383	0
A_{med} (mm)	938,0	0	689,0	0	511,3	0	382,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,68	0	3,17	0	2,74
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,51	1,83	2,11	2,39
c'' (N/m.s)	-	1,030453	-	1,015607	-	1,004556	C_{med}	1,016872

Tabela 4.5.2.1-3– Resultados obtidos para EPO com 5% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + EPO5 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	578	0	338	0	193	0
A2 (mm)	938	0	583	0	348	0	203	0
A3 (mm)	938	0	588	0	348	0	203	0
A_{med} (mm)	938,0	0	583,0	0	344,7	0	199,7	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,38	0	2,60	0	1,98
t_{med} (s)	0	0,44	0,78	1,13	1,39	1,66	1,86	2,07
c'' (N/m.s)	-	1,23039	-	1,278765	-	1,297253	C_{med}	1,268803

4.5.2.2. Experimento EPO com 15% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a EPO, com adição de 15% de lama vermelha, denominado de (EPO15).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5.2-1 à 4.5.2-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.2.2-1 – Resultados obtidos para EPO com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + EPO15 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	693	0	528	0	383	0
A2 (mm)	938	0	698	0	513	0	393	0
A3 (mm)	938	0	693	0	503	0	383	0
A_{med} (mm)	938,0	0	694,7	0	514,7	0	386,3	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,69	0	3,18	0	2,75
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,51	1,84	2,12	2,39
c'' (N/m.s)	-	1,01866	-	1,018072	-	0,998753	C_{med}	1,011829

Tabela 4.5.2.2-2– Resultados obtidos para EPO com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + EPO15 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	703	0	533	0	383	0
A2 (mm)	938	0	693	0	513	0	378	0
A3 (mm)	938	0	713	0	523	0	373	0
A_{med} (mm)	938,0	0	703,0	0	523,0	0	378,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,71	0	3,20	0	2,72
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,19	1,52	1,85	2,13	2,40
c'' (N/m.s)	-	1,001066	-	1,012036	-	1,053116	C_{med}	1,022073

Tabela 4.5.2.2-3– Resultados obtidos para EPO com 15% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + EPO15 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	593	0	368	0	213	0
A2 (mm)	938	0	583	0	363	0	193	0
A3 (mm)	938	0	583	0	353	0	203	0
A_{med} (mm)	938,0	0	586,3	0	361,3	0	203,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,39	0	2,66	0	2,00
t_{med} (s)	0	0,44	0,78	1,13	1,40	1,67	1,87	2,08
c'' (N/m.s)	-	1,2246	-	1,238946	-	1,323971	C_{med}	1,262506

4.5.2.3. Experimento EPO com 25% de L.V.

O material avaliado neste experimento é a resina Epóxi com adição de 25% de lama vermelha, denominado de (EPO25).

Seguindo a metodologia da seção 3 deste capítulo, utilizando os valores obtidos nas análises, com auxílio do programa numérico *Excel* obtiveram-se as tabelas 4.5.2.3-1 à 4.5.2-3 com os resultados para as esferas E1, E2 e E3, respectivamente.

Tabela 4.5.2.3-1 – Resultados obtidos para EPO com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 1.

Aço + EPO25 – E1								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	703	0	523	0	383	0
A2 (mm)	938	0	693	0	503	0	393	0
A3 (mm)	938	0	683	0	523	0	403	0
A_{med} (mm)	938,0	0	693,0	0	516,3	0	393,0	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,69	0	3,18	0	2,78
t_{med} (s)	0	0,44	0,81	1,19	1,52	1,84	2,13	2,41
c'' (N/m.s)	-	1,022143	-	1,00983	-	0,977515	C_{med}	1,003163

Tabela 4.5.2.3-2– Resultados obtidos para EPO com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 2.

Aço + EPO25 – E2								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	703	0	513	0	363	0
A2 (mm)	938	0	698	0	523	0	368	0
A3 (mm)	938	0	703	0	523	0	363	0
A_{med} (mm)	938,0	0	701,3	0	519,7	0	364,7	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,71	0	3,19	0	2,67
t_{med} (s)	0	0,44	0,82	1,19	1,52	1,85	2,12	2,39
c'' (N/m.s)	-	1,004609	-	1,017902	-	1,09229	C_{med}	1,038267

Tabela 4.5.2.3-3– Resultados obtidos para EPO com 25% de L.V. sobre o Aço para esfera 3.

Aço + EPO25 – E3								
	h0	hc	h1	hc	h2	hc	h3	hc
A1 (mm)	938	0	583	0	353	0	203	0
A2 (mm)	938	0	573	0	363	0	218	0
A3 (mm)	938	0	583	0	358	0	223	0
A_{med} (mm)	938,0	0	579,7	0	358,0	0	214,7	0
V_{med} (m/s)	0	4,29	0	3,37	0	2,65	0	2,05
t_{med} (s)	0	0,44	0,78	1,13	1,40	1,67	1,88	2,09
c'' (N/m.s)	-	1,236153	-	1,236786	-	1,26552	C_{med}	1,246153

Capítulo V

5. Análise de resultados

5.1. Resultados dos experimentos

Com os resultados obtidos nos experimentos realizados, permite-se avaliar a variação da capacidade de absorção de energia, em função da variação do percentual de L.V. adicionado a cada uma das bases (Poliéster e Epóxi).

Utilizando novamente o conceito de dois amortecedores em série para um sistema vibracional, onde o coeficiente de amortecimento obtido nos experimentos com os polímeros, são resultado da soma do amortecimento apenas com o tarugo de aço e o coeficiente de perda do polímero. Assim o coeficiente de perda será o resultado da subtração dos dois experimentos.

Comparando primeiramente os polímeros à base de Poliéster insaturado, obtém-se a Tabela 5.1.1

Tabela 5.1-1- Coeficientes de perdas dos RPI reforçados com lama vermelha

	Aço + RPI5	AÇO + RPI15	AÇO + RPI25	AÇO	RPI5	RPI15	RPI25
E1	0,963168	1,011622	1,053553	0,928281	0,034886	0,083341	0,125271
E2	1,016947	1,015881	1,072468	1,007924	0,009023	0,007957	0,064544
E3	1,274919	1,281798	1,27182	1,254546	0,020373	0,027251	0,017274
MÉDIA					0,021427	0,039516	0,06903

Observa-se que o coeficiente de perda dos polímeros a base de resina poliéster instaurada, reforçadas com lama vermelha aumenta proporcionalmente com o percentual de lama vermelha que é adicionado. Porém há uma variação muito grande entre cada uma das esferas que é utilizada, o que não deveria ocorrer.

A Figura 5.1.1 apresenta a curva do coeficiente de perda obtido nos experimentos do capítulo IV, para os polímeros à base de resina Poliéster.

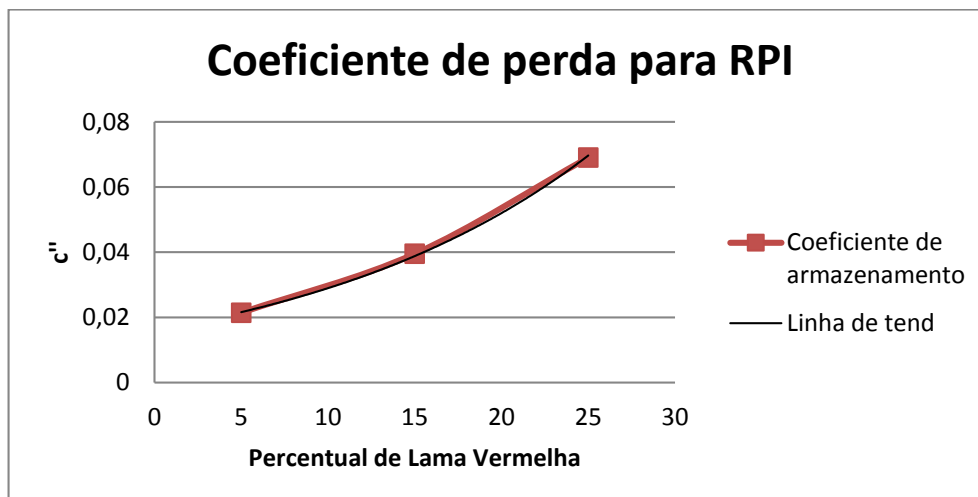


Figura 5.1.1 - Curva do coeficiente de perda em função do percentual de LV para os RPI.

Os coeficientes de perda para os polímeros à base de resina epóxi reforçados com 5, 15 e 25% de lama vermelha são demonstrados na Tabela 5.1.2.

Tabela 5.1-2- Coeficientes de perdas (amortecimento) dos EPO reforçados com lama vermelha.

	Coeficientes de amortecimento (N/m.s ⁻¹)						
	Aço + EPO5	AÇO + EPO15	AÇO + EPO25	AÇO	EPO5	EPO15	EPO25
E1	0,996655	1,011829	1,003163	0,928281	0,068374	0,083547	0,074881
E2	1,016872	1,022073	1,038267	1,007924	0,008948	0,014149	0,030343
E3	1,268803	1,262506	1,246153	1,254546	0,014256	0,007959	-0,00839
MÉDIA					0,030526	0,035218	0,032277

Assim como nos polímeros RPI reforçados com LV, os EPO reforçados com LV apresentam grande variação no mesmo percentual de LV, entretanto os coeficientes de perda permanecem estáveis nos diferentes percentuais de lama vermelha.

5.2. Comparação com os Resultados do DMA

Nas análises de DMA, foram levantadas as curvas do coeficiente de perda (c'') em função da temperatura, numa frequência constante de 1 Hz. Os coeficientes de perda utilizados para comparação foram os obtidos à temperatura próxima à ambiente (aproximadamente 30°C), não havendo muita diferença na faixa inicial de temperatura, conforme pode apresentado na tabelas e gráficos do anexo III. A Tabella 5.2.1 apresenta os coeficientes de perda associados a cada polímero utilizado nos experimentos

Tabela 5.2-1 Coeficientes de perda pelo ensaio de DMA $c''(1,000 \text{ Hz})/(\text{N}/\mu\text{m})$.

	5% L.V.	15% L.V.	25% L.V.
Poliéster	0,020772	0,019149	0,04008
Epóxi	0,13106	0,05887	0,209

Comparando os valores obtidos nos ensaios de DMA, constata-se que não há uma relação com a variação do percentual de lama vermelha.

Ao comparar os resultados da análise de DMA com os resultados experimentais, observa-se que nos experimentos com a resina poliéster insaturada, a esfera 3 obteve os valores mais próximos aos resultados do DMA, divergindo apenas no percentual de 25% da razão mássica de lama vermelha, enquanto a mesma esfera nos experimentos com a resina epóxi, os valores não apresentaram uma proximidade, havendo inclusive um coeficiente negativo, o que não deve ocorrer. Os demais resultados, inclusive valores médios não apresentam uma razão com os da análise em DMA.

A energia dissipada pelos compósitos durante o experimento é a diferença entre a variação da energia potencial dos experimentos com os compósitos pela variação da energia potencial sobre o aço. Esta também pode ser obtida através da aplicação da equação 2.17.

$$E_d = \frac{\Delta c'' \cdot \dot{x}^2}{2} \quad (5.1)$$

Onde $\Delta c''$ é o coeficiente de perda atribuído ao polímero. Assim, a energia dissipada é uma função da velocidade.

Apesar da utilização de inúmeros conceitos, não é possível comparar a energia absorvida do experimento com o módulo de perda da análise DMA, pois não há como assegurar que a energia dissipada no experimento é a máxima que o compósito consegue dissipar. Seria possível comparar a energia dissipada com o módulo de perda se fosse realizada alguma associação da energia dissipada com as tensões e deformações exercidas sobre os polímeros. Como não há como determinar a deformação exercida sobre o polímero esta comparação se torna inviável.

Capítulo VI

6. Conclusão

É apresentada neste projeto, uma análise experimental sobre a capacidade de dissipação de energia em materiais poliméricos produzidos com resíduos oriundos da fabricação do alumínio (lama vermelha), com diferentes percentuais mássicos (5, 15 e 25%), utilizando como resinas base o epóxi e poliéster insaturado.

Os polímeros fabricados com os diferentes teores de lama vermelha foram submetidos aos experimentos do capítulo 4, onde obteve-se os valores de coeficiente de amortecimento (dissipação) teórico registrados. Com os experimentos registrados, estes compósitos foram cortados na dimensão de 40 x 12 x 4mm para obtenção dos coeficientes de perda através de ensaios de DMA para posterior comparação.

Durante os experimentos houve uma grande dificuldade devido ao retorno das esferas utilizadas muitas vezes não ser normal a superfície, necessitando realizar várias vezes o mesmo experimento para obter 3 valores significativos.

Só foi possível comparar o coeficiente de amortecimento de um sistema vibracional referente ao polímero, com o coeficiente de dissipação do ensaio de DMA, entretanto os resultados obtidos não podem ser considerados validos por haver grande variação entre o experimento e o ensaio e os resultados obtidos pelos ensaios serem dispersos.

Não foi possível relacionar a energia dissipada com o módulo de perda, pois para isso é necessário que sejam determinados o volume submetido a esforços e as deformações obtidas nos polímeros.

Assim o sistema massa-mola simples não é um bom parâmetro para avaliar as energias absorvidas e dissipadas em um polímero.

O ensaio de DMA demonstrou que não há uma razão entre a adição de lama vermelha numa matriz polimérica com o ganho ou perda na propriedade de absorção ou dissipação de energia. Assim, é possível utilizar a lama vermelha nestas bases poliméricas, sem que haja uma variação nesta propriedade, devendo-se analisar se há algum outro benefício em termos de propriedades do material ou, sua utilização apenas com o proposito de destinar um lixo ambiental sem prejudicar as propriedades do material base.

6.1. Sugestão para trabalhos futuros

Ficou concluído que o insucesso no método testado está associado às inúmeras variáveis que não foram controladas, assim entram como sugestão para trabalhos futuros refinar estes métodos como apresentado abaixo, além de um estudo sobre a aproximação da curva quadrática gerada pelo movimento de queda livre pela curva senoidal de um sistema massa mola.

- Avaliação da energia dissipada por um corpo em queda livre com alto coeficiente de elasticidade pela aproximação de um sistema amortecido;
- Avaliação da absorção de energia com equipamentos similares ao utilizado no ensaio de charpie, onde seja possível aferir o ângulo de retorno com precisão;
- Instrumentação dos experimentos realizados, possibilitando avaliar as deformações sofridas pelo corpo de prova.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [01] ABAL. Associação Brasileira de Alumínio. Apresenta textos sobre os processos de extração do Alumínio, disponível em < <http://www.abal.org.br/aluminio/cadeia-primaria/>>. Acesso em 20 de novembro de 2014
- [02] ABNT NBR 14724- 2005 – Informação e Documentação – Trabalhos Acadêmicos – Apresentação.
- [03] ALUNORTE – Alumina do norte do Brasil S/A. *Relatório da administração no ano de 2004*, disponível em < <http://www.alunorte.net>>. Acessado em novembro de 2005.
- [04] Antunes, M. L. P., da Conceição F. T., Navarro, G. R. B. Publicação -Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações – 2011.
- [05] Banjare, Johan; Sahu, Yagya Kumar; Agrawal, Alok; Satapathy, Alok – Science Direct – *Physical and thermal characterization of red mud reinforced epoxy composites: An experimental investigation*. 2014.
- [06] Callister Jr., William D. – Ciências e Engenharia de Materiais uma Introdução, 7ª ed., Gen & LTC, 2008
- [07] De Souza, Wander Burielo – Dissertação de mestrado - “Estudo de adição de lama de bauxita em polímero de poli (Metacrilato de Metila) por meio de polimerização em massa e moldagem em casting” – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – 2008
- [08] de Oliveira, R. F., Araújo Neto, A. P., de Souza, J. R., & Souza, d. (15 de agosto de 2014). CONEM 2014. *Avaliação da absorção de energia em compósitos poliméricos com matriz de PTFE*. Uberlândia, MG, Brasil.
- [09] Felisberti, M. I., & Cassu, S. N. (Fevereiro de 2005). Comportamento dinâmico – mecânico e relaxações em polímeros e blendas poliméricas.
- [10] FEM – UNICAMP. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Apresenta textos sobre o comportamento dos materiais sob tensão. Disponível em < <http://www.fem.unicamp.br/>> Acesso em 20 de novembro de 2014.
- [11] He, Jian; Jie, Yuxin; Zhang, Jianhong; Yu, Yuzhen; Zhang, Guoping – Journal of Hazardous Materials – *Synthesis and characterization of red mud and rice husk ash-based geopolymers*. Dezembro 2012.
- [12] Liu, Yong; Lin, Chuxia; Wu, Yonggui – Journal of Hazardous Materials – Caracterização da lama vermelha derivada do processo Bayer e calcinação. Dezembro 2006.
- [13] Luna, C. B. (s.d.). *Revista de Engenharia e Tecnologia UFCG*, 13.
- [14] Manfroí ,Eliz Paula; Cheriaf, Malik; Rocha, Janaíde Cavalcante – Journal of Hazardous Materials – *Microstructure, mineralogy and environmental evaluation of cementitious composites produced with red mud waste*, novembro de 2013.
- [15] Resende, Eliane Cristina – Dissertação de mestrado – Aplicação da lama vermelha como catalizador em processos oxidativos / redutivos –Universidade Federal de Lavras –Lavras - MG- 2013
- [16] Silva Filho, E. B.; Alves, M. C. M.; Da Motta, M Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas – São Paulo –SP – 2007

- [17] Villarejo, L. Pérez; Iglesias, F.A. Corpas; Martínez S.; R. Artiaga; Cosp J. Pascual – Journal of Hazardous Materials – *Manufacturing new ceramic materials from clay and red mud derived from the aluminium industry*, maio de 2012.
- [18] Samal, Sneha; Ray, Ajoy K.; Bandopadhyay, Amitava – Science Direct – *Proposal for resources, utilization and processes of red mud in India — A review*, novembro 2012.
- [19] Gök, Ayoegül; Omastová, Mária; Proken, Jan – Science Direct – *Synthesis and characterization of red mud/polyaniline composites: Electrical properties and thermal stability*, março 2007.

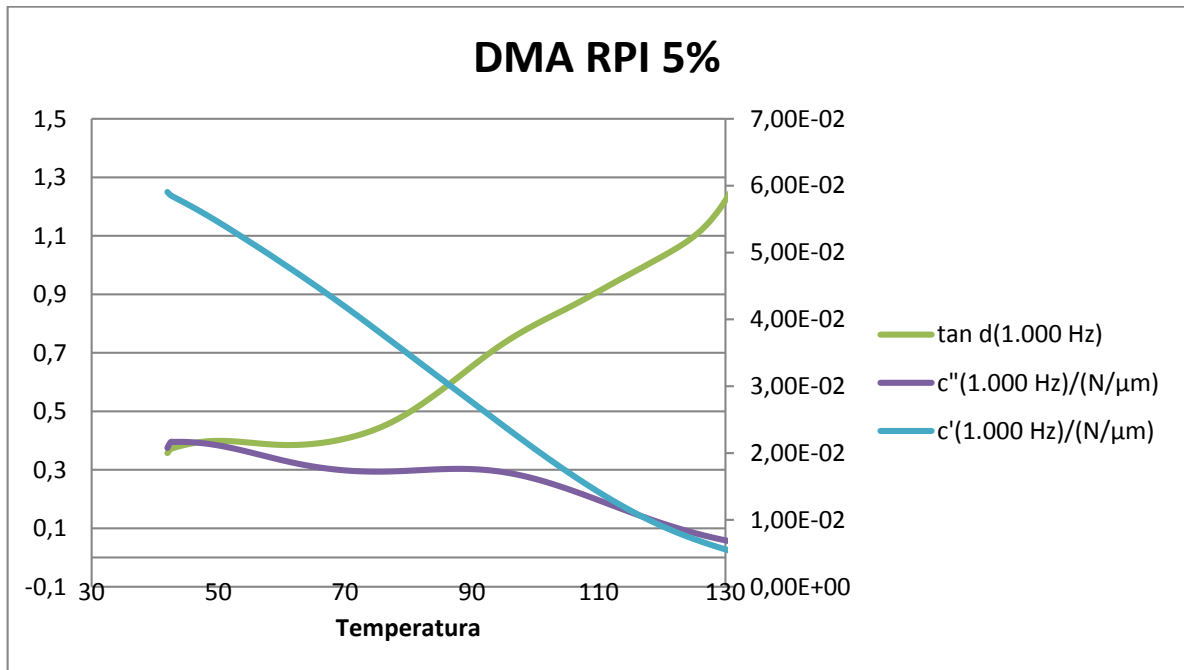
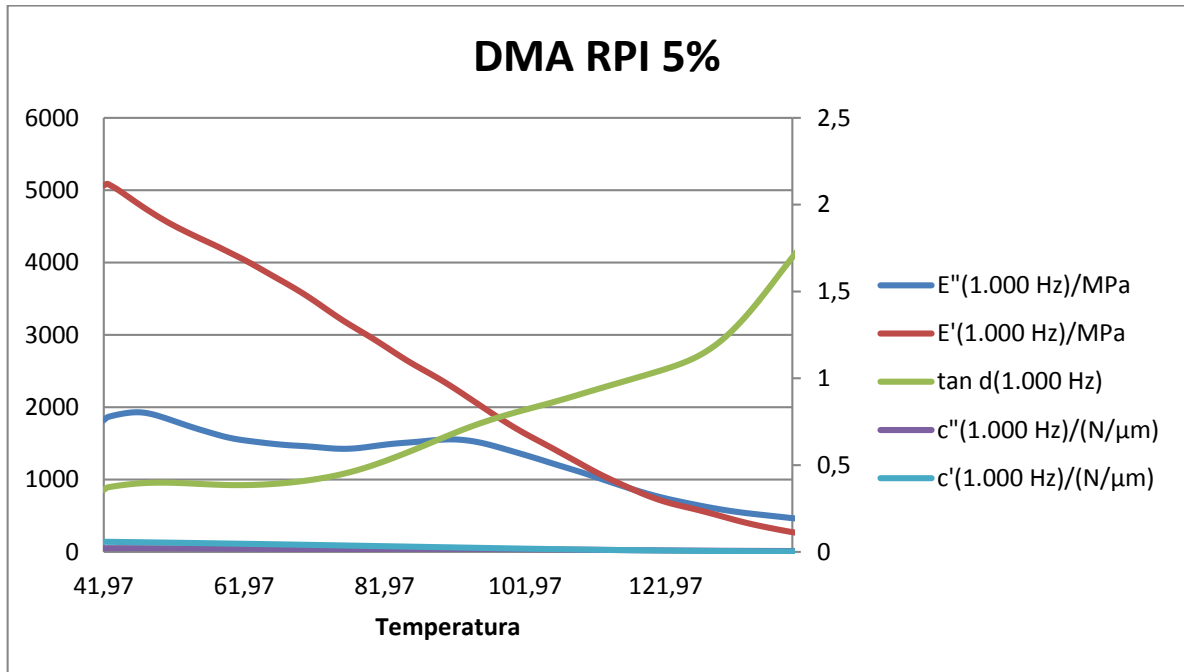
ANEXOS

ANEXO I

DMA de resina poliéster insaturada com 5% de L.V.

#Temp./°C	Time/min	tan d(1.000 Hz)	E'(1.000 Hz)/MPa	c''(1.000 Hz)/(N/μm)	c'(1.000 Hz)/(N/μm)	E''(1.000 Hz)/MPa
41,97	4,7	0,35712	5063,23653	2,08E-02	5,90E-02	1820,14871
42,47	4,79484	0,37058	5086,26763	2,16E-02	5,86E-02	1859,93764
42,97	4,97471	0,37455	5063,70462	2,17E-02	5,83E-02	1875,09448
43,47	5,12245	0,37791	5036,87875	2,17E-02	5,81E-02	1887,58082
43,97	5,25583	0,38097	5006,56437	2,17E-02	5,78E-02	1898,18624
44,47	5,37927	0,38376	4974,4517	2,17E-02	5,76E-02	1907,49759
44,97	5,49643	0,38633	4941,06967	2,17E-02	5,73E-02	1915,69081
45,47	5,60916	0,3887	4906,98026	2,16E-02	5,70E-02	1922,53155
45,97	5,71782	0,39082	4872,87458	2,16E-02	5,68E-02	1927,52786
46,47	5,82391	0,3927	4839,03226	2,16E-02	5,65E-02	1930,04773
46,97	5,92779	0,39433	4805,74245	2,15E-02	5,63E-02	1929,94296
47,47	6,02967	0,3957	4773,13643	2,15E-02	5,60E-02	1926,9555
47,97	6,13019	0,39679	4741,1242	2,14E-02	5,57E-02	1920,84936
48,47	6,2294	0,39764	4709,72948	2,14E-02	5,54E-02	1912,0058
48,97	6,32775	0,39825	4678,90435	2,13E-02	5,51E-02	1900,90553
49,47	6,42576	0,39863	4648,6502	2,12E-02	5,49E-02	1887,90687
49,97	6,52374	0,3988	4619,09799	2,12E-02	5,46E-02	1873,47796
50,47	6,62128	0,39878	4590,38766	2,11E-02	5,43E-02	1858,17646
50,97	6,71841	0,39858	4562,54278	2,10E-02	5,40E-02	1842,25528
51,47	6,81565	0,39822	4535,52561	2,09E-02	5,37E-02	1825,83398
51,97	6,91256	0,39771	4509,48435	2,08E-02	5,34E-02	1809,27117
52,47	7,00917	0,39708	4484,24038	2,07E-02	5,31E-02	1792,65579
52,97	7,10561	0,39634	4459,69308	2,06E-02	5,28E-02	1776,00211
53,47	7,20199	0,39552	4435,57348	2,05E-02	5,25E-02	1759,47846
53,97	7,29818	0,39462	4411,81825	2,04E-02	5,22E-02	1743,21654
54,47	7,39394	0,39369	4388,42955	2,02E-02	5,19E-02	1727,39672
54,97	7,4899	0,39272	4365,20865	2,01E-02	5,16E-02	1711,95024
55,47	7,58594	0,39174	4342,17888	2,00E-02	5,13E-02	1696,8747
55,97	7,68113	0,39076	4319,57462	1,99E-02	5,10E-02	1682,22583
56,47	7,77616	0,3898	4297,1785	1,98E-02	5,07E-02	1667,73851
56,97	7,87124	0,38887	4274,87967	1,97E-02	5,04E-02	1653,35019
57,47	7,96602	0,38799	4252,58722	1,95E-02	5,01E-02	1639,20375
57,97	8,061	0,38717	4229,89234	1,94E-02	4,98E-02	1625,29365
58,47	8,1568	0,38642	4206,54274	1,93E-02	4,94E-02	1611,68757
58,97	8,254	0,38577	4182,35844	1,92E-02	4,91E-02	1598,64235
59,47	8,3504	0,38524	4158,14282	1,91E-02	4,88E-02	1586,72084
59,97	8,44588	0,38484	4134,06436	1,90E-02	4,85E-02	1575,9167
60,47	8,54075	0,38458	4110,0838	1,88E-02	4,82E-02	1566,24074
60,97	8,63567	0,38446	4085,9239	1,87E-02	4,79E-02	1557,57971
61,47	8,73051	0,38448	4061,483	1,86E-02	4,75E-02	1549,75754
61,97	8,82492	0,38465	4036,56688	1,85E-02	4,72E-02	1542,79343
62,47	8,91909	0,38497	4011,0047	1,84E-02	4,69E-02	1536,35063
62,97	9,01325	0,38542	3984,70374	1,83E-02	4,66E-02	1530,18966
63,47	9,10749	0,38601	3957,54206	1,82E-02	4,63E-02	1524,12763
63,97	9,2013	0,38673	3929,98964	1,82E-02	4,59E-02	1518,12292
64,47	9,2946	0,38758	3902,25153	1,81E-02	4,56E-02	1512,20388

64,97	9,38745	0,38857	3874,49844	1,80E-02	4,53E-02	1506,48608
65,47	9,48056	0,38969	3846,71572	1,79E-02	4,50E-02	1500,96719
65,97	9,57399	0,39095	3818,95948	1,78E-02	4,46E-02	1495,68158
66,47	9,66683	0,39235	3791,47029	1,78E-02	4,43E-02	1490,69942
66,97	9,759	0,39388	3764,17398	1,77E-02	4,40E-02	1486,02096
67,47	9,85067	0,39554	3736,93298	1,77E-02	4,36E-02	1481,69356
67,97	9,94229	0,39736	3709,44483	1,76E-02	4,33E-02	1477,85921
68,47	10,03427	0,39934	3681,46994	1,75E-02	4,29E-02	1474,456
68,97	10,12638	0,40147	3652,98524	1,75E-02	4,26E-02	1471,41378
69,47	10,2178	0,40375	3624,05987	1,75E-02	4,23E-02	1468,61
69,97	10,30929	0,40617	3594,48089	1,74E-02	4,19E-02	1465,78851
70,47	10,40113	0,40875	3564,05636	1,74E-02	4,16E-02	1462,80454
70,97	10,49292	0,4115	3532,84923	1,73E-02	4,12E-02	1459,51416
71,47	10,5843	0,41438	3501,01689	1,73E-02	4,09E-02	1455,92028
71,97	10,67526	0,4174	3468,52825	1,73E-02	4,05E-02	1452,0045
72,47	10,76647	0,42062	3435,16755	1,73E-02	4,02E-02	1447,74992
72,97	10,85769	0,42399	3401,37888	1,73E-02	3,98E-02	1443,34625
73,47	10,94875	0,42755	3367,40992	1,72E-02	3,95E-02	1438,93477
73,97	11,03997	0,43131	3333,50337	1,72E-02	3,91E-02	1434,81746
74,47	11,13137	0,43528	3299,83817	1,72E-02	3,88E-02	1431,16224
74,97	11,22278	0,43948	3266,84113	1,72E-02	3,84E-02	1428,35064
75,47	11,31404	0,4439	3234,54085	1,72E-02	3,80E-02	1426,39495
75,97	11,40512	0,44854	3203,04134	1,72E-02	3,77E-02	1425,47168
76,47	11,49629	0,45344	3172,28405	1,72E-02	3,73E-02	1425,74086
76,97	11,58719	0,45857	3142,24609	1,72E-02	3,70E-02	1427,11567
77,47	11,67768	0,46392	3112,92125	1,73E-02	3,66E-02	1429,67581
77,97	11,76855	0,46955	3083,8868	1,73E-02	3,63E-02	1433,44963
78,47	11,85944	0,47543	3055,0062	1,73E-02	3,59E-02	1438,18752
78,97	11,95005	0,48153	3026,19853	1,73E-02	3,55E-02	1443,78439
79,47	12,04051	0,48786	2997,22661	1,73E-02	3,52E-02	1449,98912
79,97	12,131	0,49439	2967,9045	1,74E-02	3,48E-02	1456,50645
80,47	12,22173	0,50117	2937,91729	1,74E-02	3,45E-02	1463,16568
80,97	12,31271	0,50815	2907,22251	1,74E-02	3,41E-02	1469,74738
81,47	12,40358	0,5153	2876,02037	1,74E-02	3,37E-02	1476,13032
81,97	12,49382	0,52258	2844,5446	1,75E-02	3,34E-02	1482,15625
82,47	12,584	0,53	2812,83743	1,75E-02	3,30E-02	1487,82612
82,97	12,67432	0,53756	2780,96557	1,75E-02	3,27E-02	1493,09407
83,47	12,7647	0,54527	2749,25241	1,75E-02	3,23E-02	1497,85393
83,97	12,85505	0,55307	2717,82557	1,75E-02	3,20E-02	1502,19976
84,47	12,94517	0,56096	2687,04747	1,76E-02	3,16E-02	1506,06612
84,97	13,03527	0,56893	2656,81937	1,76E-02	3,12E-02	1509,70317
85,47	13,12547	0,57701	2627,28804	1,76E-02	3,09E-02	1513,28597
85,97	13,21527	0,58514	2598,55128	1,76E-02	3,05E-02	1516,99315
86,47	13,30486	0,59333	2570,49213	1,76E-02	3,02E-02	1520,92947
86,97	13,39476	0,60164	2542,96784	1,76E-02	2,98E-02	1525,2531
87,47	13,48475	0,61001	2515,80629	1,76E-02	2,95E-02	1529,85282
87,97	13,57485	0,61845	2488,80989	1,76E-02	2,91E-02	1534,61592

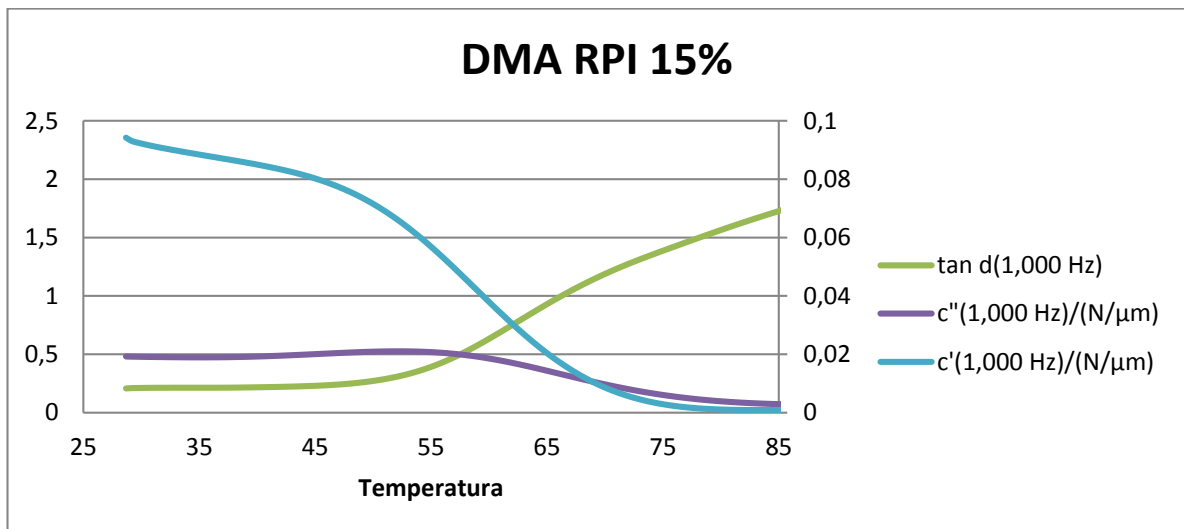
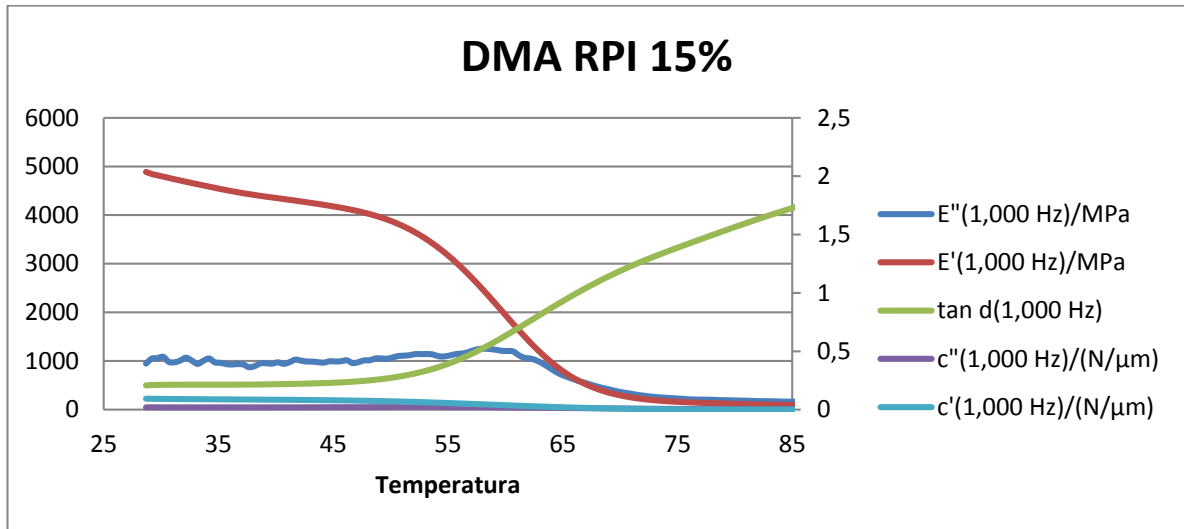


ANEXO II

DMA de resina poliéster insaturada com 15% de L.V.

##Temp./°C	Time/min	tan d(1,000 Hz)	E'(1,000 Hz)/MPa	c''(1,000 Hz)/(N/μm)	c'(1,000 Hz)/(N/μm)	E''(1,000 Hz)/MPa
28,68364	0,11111	0,20733	4887,46625	0,019281	0,094236	947,80998
29,18364	0,48705	0,20999	4844,4252	0,019214	0,093096	1049,51299
29,68364	0,67128	0,2111	4817,15023	0,01918	0,092535	1060,29307
30,18364	0,82844	0,21187	4790,13213	0,019149	0,092055	1086,81046
30,68364	0,97357	0,21243	4762,62988	0,01912	0,09161	980,78147
31,18364	1,11016	0,21284	4735,55429	0,019093	0,091192	975,02989
31,68364	1,23899	0,21312	4709,22389	0,019069	0,090799	1011,84741
32,18364	1,36151	0,21331	4683,68972	0,019047	0,090425	1069,49257
32,68364	1,48062	0,21341	4658,62937	0,019027	0,090062	1007,53934
33,18364	1,59856	0,21346	4633,68626	0,019009	0,089705	941,72458
33,68364	1,71559	0,21347	4608,85372	0,018995	0,089351	1005,97427
34,18364	1,83132	0,21346	4584,22468	0,018984	0,089002	1051,68483
34,68364	1,94575	0,21343	4559,84112	0,018977	0,088658	972,62779
35,18364	2,05918	0,21343	4535,77766	0,018975	0,088318	964,04286
35,68364	2,1712	0,21346	4512,32483	0,018978	0,087982	936,78153
36,18364	2,28252	0,21355	4489,69237	0,018987	0,087647	929,47058
36,68364	2,3933	0,21371	4468,22069	0,019001	0,087314	938,36402
37,18364	2,50351	0,21395	4448,02954	0,019022	0,08698	927,25878
37,68364	2,61338	0,2143	4429,06372	0,019049	0,086644	872,73115
38,18364	2,723	0,21474	4411,00918	0,019083	0,086305	898,84368
38,68364	2,83217	0,21529	4393,77698	0,019124	0,085961	954,93291
39,18364	2,94087	0,21592	4377,32516	0,01917	0,08561	952,69627
39,68364	3,05023	0,21665	4361,306	0,019224	0,085248	947,47241
40,18364	3,1598	0,21746	4345,52595	0,019284	0,084872	973,0396
40,68364	3,26916	0,21835	4329,58914	0,019351	0,084483	942,84109
41,18364	3,37733	0,21931	4313,39786	0,019422	0,08408	976,02368
41,68364	3,48433	0,22033	4296,83597	0,019497	0,083663	1028,80135
42,18364	3,59056	0,22142	4279,90685	0,019577	0,083227	1008,72003
42,68364	3,69582	0,22259	4262,82213	0,01966	0,08277	990,12738
43,18364	3,80097	0,22388	4245,52012	0,019746	0,082286	989,26915
43,68364	3,90597	0,2253	4227,88358	0,019835	0,081773	976,15282
44,18364	4,01062	0,22688	4209,74694	0,019927	0,081229	967,62689
44,68364	4,11497	0,22866	4190,87471	0,02002	0,08065	996,33066
45,18364	4,21986	0,23071	4170,96461	0,020115	0,080028	990,7925
45,68364	4,32441	0,23301	4150,09026	0,020211	0,079367	995,92229
46,18364	4,42823	0,23563	4128,01203	0,020305	0,078666	1015,14453
46,68364	4,5323	0,23863	4104,11056	0,020399	0,077913	958,82602
47,18364	4,63588	0,24206	4078,22991	0,02049	0,077113	976,27592
47,68364	4,73946	0,24594	4050,0943	0,020579	0,076261	1013,31914
48,18364	4,84331	0,25035	4019,27935	0,020664	0,075351	1016,25285
48,68364	4,94649	0,25533	3985,70481	0,020743	0,074386	1054,54499
49,18364	5,04964	0,26093	3948,94343	0,020816	0,073361	1053,47726
49,68364	5,15255	0,26719	3908,72407	0,020881	0,072279	1048,01832
50,18364	5,2552	0,27415	3864,52381	0,020937	0,071137	1075,0935

50,68364	5,35843	0,28198	3815,25605	0,020983	0,069922	1103,97729
51,18364	5,46145	0,29068	3761,17616	0,021017	0,068644	1110,56177
51,68364	5,56409	0,30024	3702,42383	0,021039	0,067308	1121,78888
52,18364	5,66652	0,31075	3638,68413	0,021047	0,065912	1144,46118
52,68364	5,76915	0,32237	3569,11687	0,021039	0,064447	1141,88739
53,18364	5,87198	0,33519	3493,47782	0,021014	0,062915	1144,20488
53,68364	5,97468	0,34911	3412,43419	0,020973	0,061329	1134,46174
54,18364	6,07705	0,36427	3325,6647	0,020913	0,059688	1099,28048
54,68364	6,17961	0,38083	3232,56666	0,020832	0,057988	1095,90618
55,18364	6,28208	0,39865	3133,91117	0,020732	0,056242	1116,5048
55,68364	6,38417	0,41779	3029,54103	0,02061	0,054453	1143,49557
56,18364	6,48616	0,43834	2919,15759	0,020465	0,052622	1153,42141
56,68364	6,58786	0,46014	2803,67996	0,020298	0,05076	1177,94376
57,18364	6,68944	0,48318	2683,3672	0,020108	0,048868	1217,26653
57,68364	6,79109	0,5075	2558,21049	0,019893	0,046947	1247,24507
58,18364	6,8921	0,53288	2429,71282	0,019653	0,045018	1253,39696
58,68364	6,9926	0,55909	2298,93188	0,019392	0,043086	1246,02592
59,18364	7,09278	0,5862	2166,04489	0,019108	0,041152	1230,90818
59,68364	7,19309	0,61423	2031,35619	0,018798	0,039215	1210,30995
60,18364	7,29331	0,64295	1896,19013	0,018465	0,037286	1206,75831
60,68364	7,3931	0,67215	1761,99547	0,018113	0,035376	1197,29975
61,18364	7,49213	0,70164	1630,55748	0,017741	0,033501	1117,48798
61,68364	7,59154	0,73157	1501,65357	0,017348	0,031644	1065,83837
62,18364	7,69122	0,76182	1376,22365	0,016937	0,029811	1052,66997
62,68364	7,7898	0,79184	1257,69081	0,016513	0,028038	1014,27035
63,18364	7,88808	0,82175	1144,97207	0,016077	0,026309	956,28311
63,68364	7,98663	0,85162	1038,62856	0,015626	0,024622	885,11622
64,18364	8,08535	0,8813	939,64686	0,015164	0,022986	810,30069
64,68364	8,1841	0,91073	847,30239	0,014694	0,021399	740,79337
65,18364	8,28265	0,9397	763,75745	0,014218	0,01988	691,41169
65,68364	8,38079	0,96815	687,40462	0,01374	0,018423	648,51642
66,18364	8,47842	0,99596	619,10736	0,013262	0,017038	606,16558
66,68364	8,57613	1,02325	557,8767	0,012783	0,015718	568,74097
67,18364	8,67395	1,05003	502,68314	0,012306	0,014457	533,27502
67,68364	8,77178	1,07616	454,0113	0,011831	0,013266	496,1693
68,18364	8,86944	1,10158	411,07227	0,011363	0,012145	463,55409
68,68364	8,96691	1,12631	373,12736	0,010902	0,01109	434,6565
69,18364	9,06424	1,15033	339,88006	0,01045	0,010102	407,15713
69,68364	9,16168	1,17366	310,88536	0,010007	0,0091815	379,29238
70,18364	9,25919	1,19635	285,47448	0,0095734	0,0083224	356,00998
70,68364	9,3567	1,2184	263,2302	0,0091511	0,0075223	337,08238
71,18364	9,45407	1,23973	244,19939	0,0087428	0,0067888	316,84714
71,68364	9,55149	1,26052	227,54681	0,0083465	0,0061088	298,18007
72,18364	9,64896	1,28075	213,20788	0,0079639	0,0054852	282,86889
72,68364	9,74611	1,30038	200,96806	0,0075976	0,0049198	269,3899
73,18364	9,84311	1,3196	190,28603	0,0072454	0,0044019	257,78521

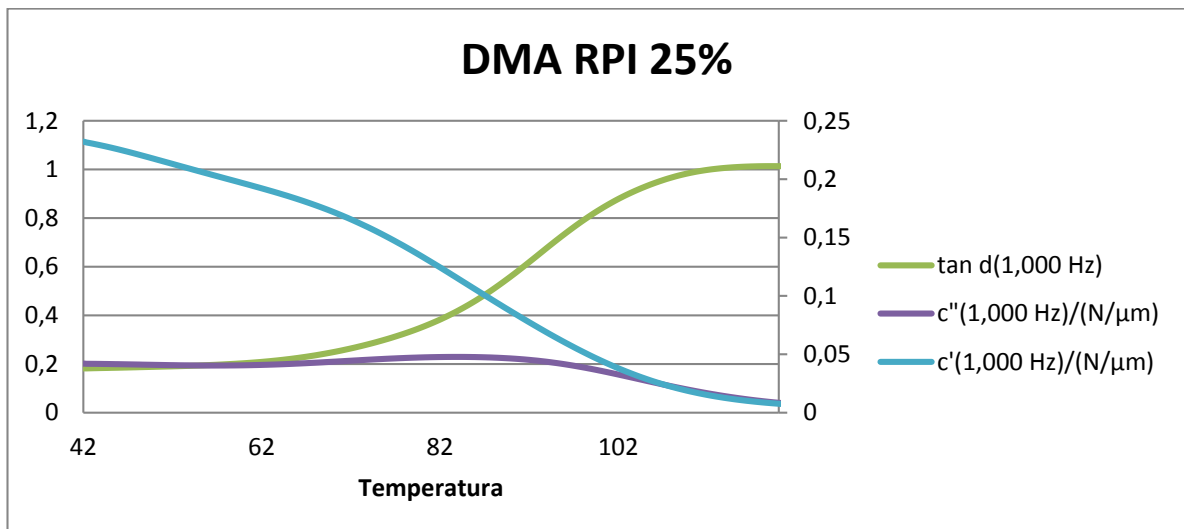
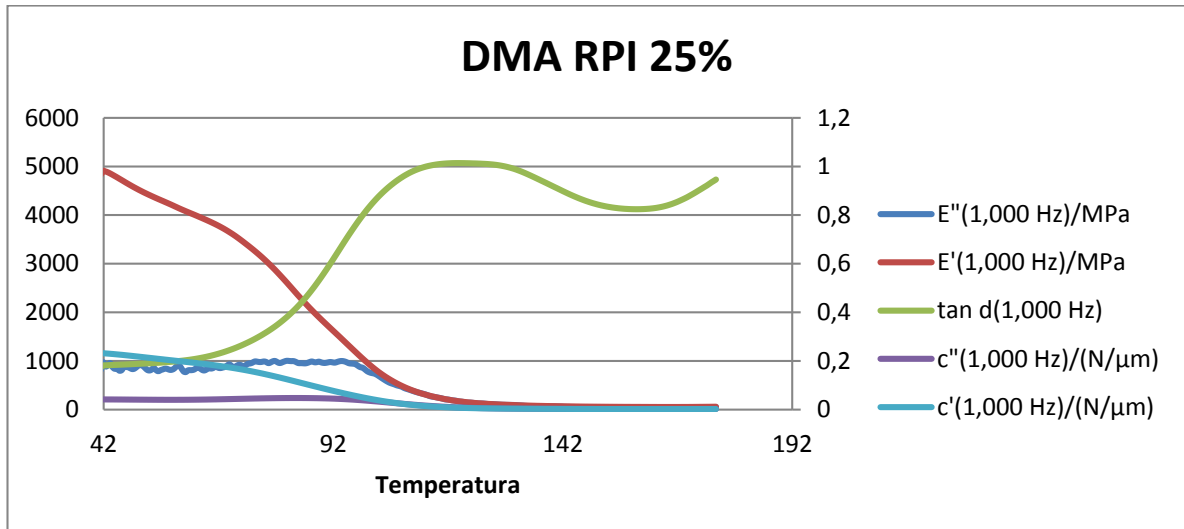


ANEXO III

DMA de resina poliéster insaturada com 25% de L.V.

##Temp,°C	Time/min	tan d(1,000 Hz)	E'(1,000 Hz)/MPa	c''(1,000 Hz)/(N/μm)	c'(1,000 Hz)/(N/μm)	E''(1,000 Hz)/MPa
41,368	0,063333	0,17351	4828,78183	0,040078	0,23083	817,83178
41,868	4,66053	0,18142	4905,3622	0,04181	0,23222	975,37572
42,368	4,84027	0,18218	4896,46871	0,041812	0,23151	889,70837
42,868	4,98766	0,18273	4878,65363	0,041792	0,23078	909,54845
43,368	5,12148	0,18318	4855,53782	0,041758	0,23001	960,44213
43,868	5,24548	0,18358	4829,81002	0,041714	0,22921	882,46882
44,368	5,36335	0,18395	4803,17345	0,041662	0,22838	841,84518
44,868	5,47611	0,18431	4776,23463	0,041605	0,22752	851,68102
45,368	5,58599	0,18469	4748,49453	0,041544	0,22662	803,60824
45,868	5,69334	0,18508	4720,33587	0,041481	0,2257	811,63285
46,368	5,79827	0,18549	4692,134	0,041415	0,22475	873,78167
46,868	5,90159	0,18593	4664,06551	0,041348	0,22378	878,30632
47,368	6,0037	0,18637	4636,38372	0,041279	0,22279	871,63515
47,868	6,10443	0,18682	4609,29162	0,04121	0,22179	847,34991
48,368	6,20432	0,18728	4582,74386	0,041139	0,22077	834,96287
48,868	6,30375	0,18775	4556,71672	0,041068	0,21974	856,44283
49,368	6,40239	0,18822	4531,414	0,040997	0,2187	895,14407
49,868	6,50049	0,18868	4506,79943	0,040926	0,21765	917,70603
50,368	6,59824	0,18914	4482,80104	0,040856	0,21659	908,70169
50,868	6,6954	0,1896	4459,43105	0,040788	0,21554	870,84851
51,368	6,79148	0,19007	4436,742	0,040722	0,21448	825,19521
51,868	6,88763	0,19055	4414,47243	0,040659	0,21343	806,56457
52,368	6,98395	0,19104	4392,55707	0,040599	0,21236	821,38801
52,868	7,08019	0,19157	4371,06531	0,040544	0,2113	859,54308
53,368	7,17621	0,19213	4349,87904	0,040495	0,21024	817,79048
53,868	7,27195	0,19272	4329,01386	0,040451	0,20919	790,7303
54,368	7,36741	0,19335	4308,44611	0,040414	0,20813	813,8676
54,868	7,46271	0,19402	4288,00499	0,040383	0,20708	828,94827
55,368	7,55828	0,19474	4267,49831	0,040361	0,20603	844,49369
55,868	7,65305	0,1955	4246,95845	0,040345	0,20499	837,31942
56,368	7,74738	0,19629	4226,16985	0,040338	0,20395	819,97082
56,868	7,84213	0,19713	4204,79567	0,040338	0,20291	823,04124
57,368	7,93635	0,19801	4183,1344	0,040347	0,20188	847,95951
57,868	8,03071	0,19894	4161,3	0,040364	0,20084	894,08512
58,368	8,12493	0,19991	4139,69179	0,040389	0,1998	913,7986
58,868	8,21851	0,20093	4118,76106	0,040423	0,19877	857,8602
59,368	8,31193	0,202	4098,34639	0,040467	0,19774	788,4909
59,868	8,40539	0,20315	4078,32776	0,04052	0,1967	774,25108
60,368	8,49886	0,20436	4058,56647	0,040583	0,19566	810,1257
60,868	8,59216	0,20567	4038,88859	0,040657	0,19461	813,08277
61,368	8,68496	0,20707	4019,24886	0,040741	0,19355	816,08567
61,868	8,77756	0,20855	3999,52606	0,040834	0,19249	835,51676
62,368	8,87059	0,21013	3979,49964	0,040939	0,19141	871,12676
62,868	8,9637	0,21183	3959,20355	0,041054	0,19032	855,04665

63,368	9,05644	0,21362	3938,72972	0,041178	0,18921	822,08457
63,868	9,14861	0,21551	3918,08893	0,041311	0,18809	806,41452
64,368	9,24068	0,21752	3897,15492	0,041454	0,18694	826,86537
64,868	9,33289	0,21964	3875,86902	0,041606	0,18578	854,87063
65,368	9,42554	0,2219	3854,01344	0,041768	0,18458	846,12469
65,868	9,51807	0,22429	3831,62254	0,041938	0,18336	858,74731
66,368	9,61036	0,22679	3808,59753	0,042115	0,18211	886,19125
66,868	9,70257	0,22942	3784,62055	0,0423	0,18083	865,31977
67,368	9,7948	0,23219	3759,67649	0,042491	0,17952	855,56117
67,868	9,88691	0,23508	3733,77217	0,042688	0,17818	866,43724
68,368	9,97861	0,2381	3706,81439	0,04289	0,1768	879,04148
68,868	10,07049	0,24126	3678,71087	0,043097	0,17539	907,88519
69,368	10,16242	0,24456	3649,55008	0,043308	0,17394	932,87557
69,868	10,25366	0,24798	3619,34115	0,043521	0,17245	897,0255
70,368	10,34504	0,25154	3587,93162	0,043736	0,17093	876,94415
70,868	10,43677	0,25526	3555,17927	0,043954	0,16935	898,73318
71,368	10,52831	0,25913	3521,16472	0,044173	0,16774	921,88535
71,868	10,6199	0,26314	3486,112	0,044392	0,16609	917,72529
72,368	10,71157	0,26731	3450,18456	0,044611	0,16439	893,70639
72,868	10,80296	0,27163	3413,73714	0,044828	0,16265	912,41441
73,368	10,89406	0,27608	3376,92922	0,045042	0,16088	943,60111
73,868	10,98488	0,28068	3339,67014	0,045252	0,15908	951,31278
74,368	11,07594	0,28544	3301,67427	0,045458	0,15723	966,99006
74,868	11,16731	0,29037	3262,79982	0,04566	0,15533	991,85605
75,368	11,2585	0,29546	3223,07691	0,045855	0,15339	988,83746
75,868	11,34974	0,30071	3182,43987	0,046044	0,15141	980,90987
76,368	11,44116	0,30615	3140,70697	0,046226	0,14939	982,48003
76,868	11,53265	0,31179	3097,7024	0,046399	0,14733	991,56132
77,368	11,62368	0,31759	3053,79774	0,046564	0,14524	982,33488
77,868	11,71423	0,32357	3008,97166	0,046718	0,14313	956,98153
78,368	11,80534	0,32982	2962,66393	0,046863	0,14097	973,42676
78,868	11,89621	0,33628	2915,39318	0,046999	0,13878	996,41634
79,368	11,98669	0,34296	2867,22127	0,047123	0,13657	1000,91138
79,868	12,07801	0,34998	2817,54481	0,047236	0,13431	973,94324
80,368	12,16932	0,35726	2767,00872	0,047339	0,13203	959,23062
80,868	12,26007	0,36479	2715,91802	0,047429	0,12973	974,36342
81,368	12,35017	0,37258	2664,3011	0,047505	0,12743	992,99282
81,868	12,44016	0,38063	2612,08044	0,04757	0,12512	1005,5632
82,368	12,53079	0,3891	2558,83992	0,047621	0,12276	1002,21766
82,868	12,62159	0,39789	2505,1996	0,047659	0,1204	998,93895
83,368	12,71235	0,40702	2451,44061	0,047682	0,11802	999,14708
83,868	12,80303	0,41651	2397,87112	0,047689	0,11563	981,1045
84,368	12,89361	0,42632	2344,66663	0,047683	0,11324	959,07131
84,868	12,98399	0,43651	2292,13864	0,047659	0,11085	957,96688
85,368	13,0743	0,44706	2240,31367	0,04762	0,10846	955,65007
85,868	13,16462	0,45797	2189,19153	0,047564	0,10607	952,93756



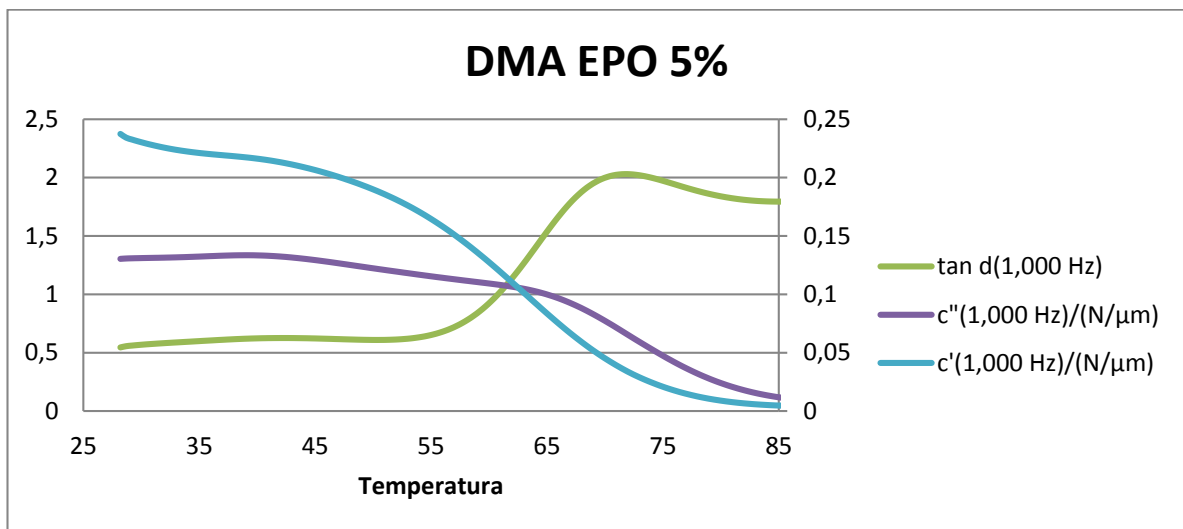
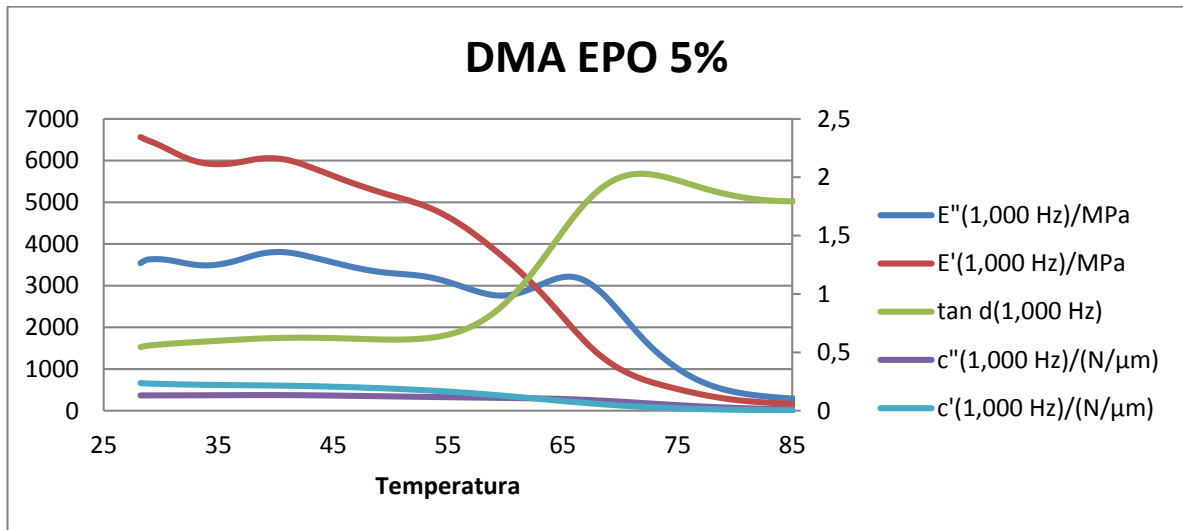
ANEXO IV

DMA de resina epóxi com 5% de L.V.

##Temp,°C	Time/min	tan d(1,000 Hz)	E'(1,000 Hz)/MPa	c''(1,000 Hz)/(N/μm)	c'(1,000 Hz)/(N/μm)	E''(1,000 Hz)/MPa
28,2043	0,11667	0,5455	6564,21217	0,13035	0,23738	3543,97166
28,7043	0,45289	0,55611	6499,59299	0,13069	0,23419	3618,53328
29,2043	0,62321	0,56128	6447,07628	0,13084	0,23256	3635,14417
29,7043	0,77775	0,5658	6388,38357	0,13096	0,2311	3637,36975
30,2043	0,92346	0,56992	6323,06918	0,13106	0,22974	3629,08106
30,7043	1,06084	0,57364	6254,39718	0,13116	0,22848	3612,15999
31,2043	1,19316	0,57709	6185,01612	0,13125	0,22731	3588,44767
31,7043	1,32188	0,58031	6119,08689	0,13134	0,22622	3561,28178
32,2043	1,44718	0,58336	6060,35388	0,13145	0,22521	3534,48249
32,7043	1,57002	0,5863	6010,53952	0,13156	0,22429	3511,61515
33,2043	1,69034	0,58918	5971,01671	0,1317	0,22346	3495,60896
33,7043	1,80878	0,59204	5941,96975	0,13185	0,22271	3487,9043
34,2043	1,92647	0,59491	5923,67898	0,13202	0,22203	3489,45442
34,7043	2,04339	0,59779	5915,1224	0,1322	0,22141	3499,90919
35,2043	2,15904	0,60068	5915,36431	0,1324	0,22085	3518,89621
35,7043	2,2735	0,60354	5922,51639	0,1326	0,22034	3544,70921
36,2043	2,38643	0,60635	5935,74907	0,13279	0,21987	3576,09974
36,7043	2,49934	0,60912	5955,82942	0,13298	0,21943	3613,50352
37,2043	2,61138	0,61179	5980,90551	0,13315	0,219	3654,77483
37,7043	2,72243	0,61432	6008,04207	0,13329	0,21857	3697,04715
38,2043	2,83347	0,61668	6032,55084	0,1334	0,21812	3736,1557
38,7043	2,94424	0,61882	6049,66172	0,13345	0,21764	3767,74893
39,2043	3,05343	0,62069	6057,65921	0,13346	0,21713	3790,01615
39,7043	3,1611	0,62227	6057,2317	0,13341	0,21657	3803,30859
40,2043	3,26938	0,62358	6048,83643	0,13329	0,21595	3808,40402
40,7043	3,37763	0,62461	6031,24655	0,13312	0,21526	3804,77507
41,2043	3,48532	0,62533	6003,05634	0,13288	0,21451	3791,8402
41,7043	3,59244	0,62577	5965,85206	0,13258	0,21368	3770,95762
42,2043	3,69942	0,62593	5921,83609	0,13222	0,21278	3743,83048
42,7043	3,80664	0,62581	5873,42657	0,1318	0,2118	3712,60717
43,2043	3,91258	0,62544	5822,84181	0,13133	0,21077	3679,65192
43,7043	4,0191	0,62484	5770,76082	0,13082	0,20965	3645,98337
44,2043	4,125	0,62404	5718,34825	0,13026	0,20847	3612,40142
44,7043	4,23001	0,62304	5665,5626	0,12967	0,20723	3578,73598
45,2043	4,33518	0,62186	5611,78638	0,12905	0,20592	3544,41808
45,7043	4,43987	0,62053	5558,92721	0,12839	0,20454	3510,59175
46,2043	4,54459	0,61909	5507,44975	0,12772	0,2031	3477,73951
46,7043	4,64948	0,61756	5457,85655	0,12702	0,20159	3446,40305
47,2043	4,75401	0,61599	5410,63005	0,12631	0,20001	3417,31194
47,7043	4,85824	0,61445	5364,55991	0,1256	0,19837	3390,55032
48,2043	4,96175	0,61301	5319,35833	0,12487	0,19666	3366,26111
48,7043	5,06507	0,61172	5275,11478	0,12415	0,19489	3344,6073

49,2043	5,16874	0,61064	5232,17977	0,12343	0,19303	3325,90477
49,7043	5,272	0,60988	5191,19751	0,12271	0,1911	3310,50271
50,2043	5,37453	0,60952	5151,86956	0,12199	0,18909	3297,65961
50,7043	5,47697	0,60965	5112,9813	0,12129	0,187	3286,39244
51,2043	5,5798	0,61037	5073,30896	0,12058	0,1848	3275,75441
51,7043	5,68215	0,61187	5031,96793	0,11989	0,18251	3264,41783
52,2043	5,7845	0,61421	4988,25081	0,1192	0,18012	3251,11775
52,7043	5,88687	0,6176	4940,64216	0,11851	0,17761	3233,96443
53,2043	5,98897	0,62212	4888,39251	0,11783	0,175	3212,04691
53,7043	6,09067	0,62812	4830,45194	0,11715	0,17226	3184,418
54,2043	6,19258	0,63572	4766,07135	0,11648	0,1694	3151,41966
54,7043	6,29461	0,64515	4695,09396	0,11582	0,16641	3113,54483
55,2043	6,39611	0,65671	4618,14728	0,11516	0,1633	3072,02988
55,7043	6,4971	0,67064	4535,9276	0,11452	0,16008	3028,18036
56,2043	6,59807	0,68712	4448,1827	0,11389	0,15674	2982,66434
56,7043	6,69932	0,70647	4354,57453	0,11326	0,15327	2936,30373
57,2043	6,80064	0,72913	4255,36855	0,11264	0,14966	2890,938
57,7043	6,90125	0,75509	4152,59757	0,11203	0,14596	2849,45343
58,2043	7,00192	0,78457	4046,4401	0,11143	0,14215	2813,58343
58,7043	7,10289	0,81792	3937,06798	0,11083	0,13822	2785,55943
59,2043	7,20313	0,85519	3825,89234	0,11023	0,13421	2768,5256
59,7043	7,30376	0,8967	3711,82328	0,10963	0,1301	2763,72087
60,2043	7,40447	0,94226	3594,92226	0,10901	0,12591	2771,66039
60,7043	7,50485	0,99175	3474,93152	0,10837	0,12165	2792,85621
61,2043	7,60556	1,04562	3349,77256	0,10769	0,1173	2827,38155
61,7043	7,70611	1,10293	3220,20403	0,10696	0,11291	2871,77243
62,2043	7,80622	1,16328	3086,3369	0,10617	0,1085	2924,08875
62,7043	7,90583	1,22643	2947,58769	0,1053	0,10407	2981,3831
63,2043	8,00562	1,29188	2803,77699	0,10435	9,96E-02	3040,18465
63,7043	8,10571	1,35931	2654,70607	0,10328	9,51E-02	3097,68297
64,2043	8,20531	1,42747	2501,96676	0,10208	9,07E-02	3148,62892
64,7043	8,3049	1,49573	2346,02029	0,10075	8,63E-02	3188,32803
65,2043	8,40432	1,56313	2188,38167	9,93E-02	8,19E-02	3212,54765
65,7043	8,50322	1,62847	2031,31692	9,76E-02	7,76E-02	3215,98253
66,2043	8,60205	1,69079	1877,20778	9,58E-02	7,34E-02	3194,04006
66,7043	8,7007	1,74957	1728,36066	9,39E-02	6,93E-02	3149,19576
67,2043	8,79897	1,80345	1588,08023	9,17E-02	6,53E-02	3078,42186
67,7043	8,89678	1,85189	1458,29058	8,95E-02	6,14E-02	2985,87389
68,2043	8,99446	1,89481	1339,11062	8,71E-02	5,76E-02	2874,12128
68,7043	9,09245	1,93152	1231,42618	8,45E-02	5,40E-02	2743,90065
69,2043	9,19029	1,96212	1134,26268	8,18E-02	5,05E-02	2600,65914
69,7043	9,2879	1,98693	1046,68672	7,90E-02	4,72E-02	2447,92342
70,2043	9,38536	2,00532	969,26685	7,61E-02	4,40E-02	2289,47886
70,7043	9,48314	2,0186	899,43304	7,32E-02	4,09E-02	2129,0499
71,2043	9,58151	2,02656	837,1016	7,01E-02	3,80E-02	1969,10784
71,7043	9,68011	2,02955	781,75355	6,71E-02	3,52E-02	1814,01079

72,2043	9,77816	2,02859	732,1577	6,40E-02	3,26E-02	1666,11242
---------	---------	---------	----------	----------	----------	------------

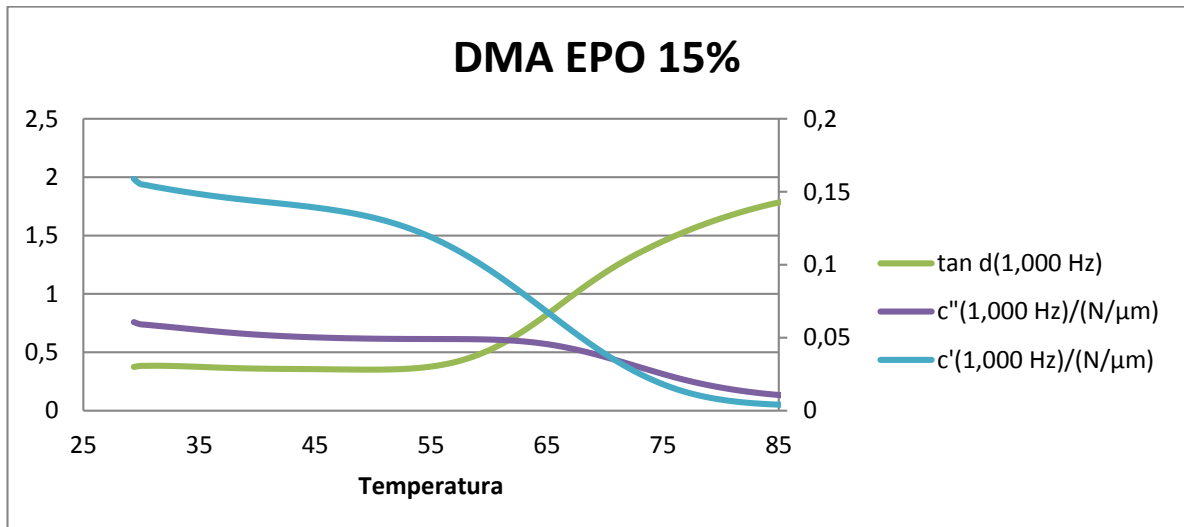
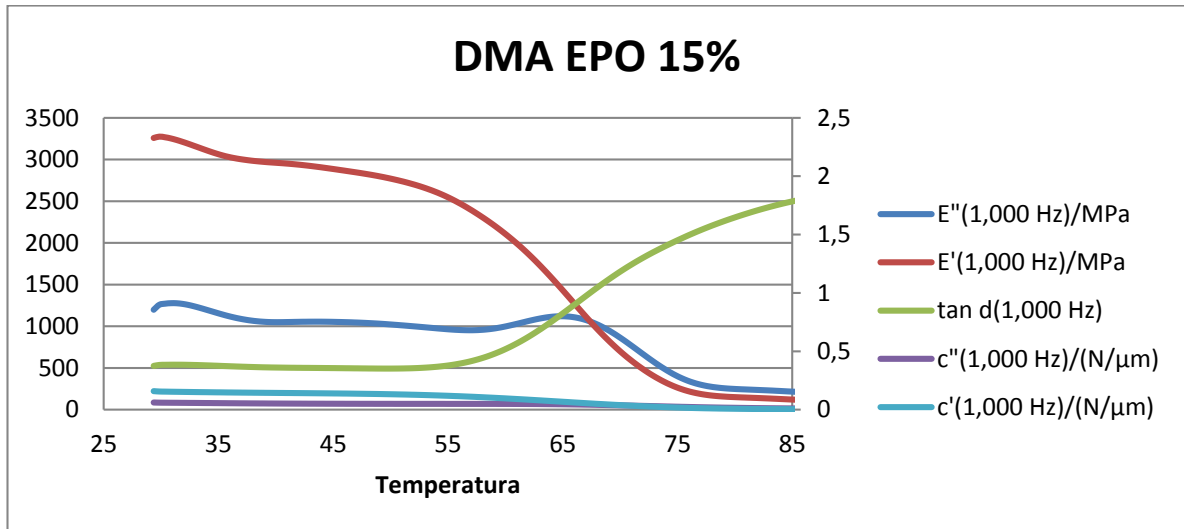


ANEXO V

DMA de resina epóxi com 15% de L.V.

##Temp./°C	Time/min	tan d(1,000 Hz)	E'(1,000 Hz)/MPa	c''(1,000 Hz)/(N/μm)	c'(1,000 Hz)/(N/μm)	E''(1,000 Hz)/MPa
29,358	0,16333	0,37507	3257,41629	0,060656	0,15889	1197,25664
29,858	0,94978	0,38301	3273,74136	0,059265	0,1556	1257,27457
30,358	1,14286	0,38438	3265,87221	0,05887	0,15472	1270,09509
30,858	1,30772	0,38507	3252,05784	0,058498	0,15394	1276,02047
31,358	1,45733	0,38521	3233,42443	0,058128	0,1532	1275,10078
31,858	1,59563	0,38485	3211,94196	0,057758	0,1525	1267,97495
32,358	1,7265	0,38407	3188,70661	0,057381	0,15182	1255,61924
32,858	1,85248	0,38294	3164,32203	0,056998	0,15116	1239,45832
33,358	1,97426	0,38155	3139,52919	0,056612	0,15051	1220,93652
33,858	2,09335	0,37995	3114,91625	0,056222	0,14988	1201,0965
34,358	2,21027	0,3782	3091,04115	0,055831	0,14927	1180,65923
34,858	2,32484	0,37635	3068,76402	0,055444	0,14867	1160,26739
35,358	2,43789	0,37444	3048,68511	0,05506	0,1481	1140,4283
35,858	2,54962	0,37253	3031,42855	0,054683	0,14754	1121,81278
36,358	2,65949	0,37066	3017,04266	0,054318	0,14701	1105,0705
36,858	2,76875	0,36888	3005,04642	0,053963	0,1465	1090,4266
37,358	2,87793	0,36719	2994,88512	0,053618	0,146	1077,9531
37,858	2,98576	0,36565	2986,15859	0,053289	0,14552	1067,71897
38,358	3,09238	0,36428	2978,63178	0,052978	0,14506	1059,74814
38,858	3,19885	0,36305	2972,13906	0,05268	0,14462	1053,90288
39,358	3,30544	0,36198	2966,61674	0,052398	0,14418	1050,25502
39,858	3,41084	0,36109	2961,69798	0,052134	0,14376	1048,61793
40,358	3,51602	0,36034	2956,89946	0,051885	0,14335	1048,57525
40,858	3,62154	0,35971	2951,80492	0,051651	0,14293	1049,54308
41,358	3,72683	0,35917	2946,16191	0,051431	0,14252	1050,91996
41,858	3,83142	0,35869	2939,77628	0,051226	0,14211	1052,25067
42,358	3,93561	0,35826	2932,62901	0,051033	0,14169	1053,28913
42,858	4,03971	0,35785	2924,80634	0,050853	0,14127	1053,98602
43,358	4,14415	0,35745	2916,43786	0,050684	0,14083	1054,32872
43,858	4,24905	0,35704	2907,54292	0,050524	0,14037	1054,24519
44,358	4,35392	0,35661	2898,16644	0,050376	0,1399	1053,68201
44,858	4,45803	0,35616	2888,45998	0,050238	0,13941	1052,68845
45,358	4,56141	0,35568	2878,51454	0,05011	0,13889	1051,30705
45,858	4,66416	0,35518	2868,50881	0,049992	0,13835	1049,63485
46,358	4,76625	0,35465	2858,41317	0,049884	0,13778	1047,61661
46,858	4,86798	0,35412	2848,13461	0,049783	0,13717	1045,23994
47,358	4,9695	0,35359	2837,54207	0,04969	0,13653	1042,47717
47,858	5,07085	0,35309	2826,49253	0,049605	0,13584	1039,33151
48,358	5,17206	0,35265	2814,76267	0,049527	0,13511	1035,80121
48,858	5,27305	0,35229	2802,29154	0,049455	0,13432	1031,86173
49,358	5,37379	0,35206	2788,94254	0,049391	0,13348	1027,44847
49,858	5,47439	0,35202	2774,59067	0,049333	0,13258	1022,55355
50,358	5,57495	0,35221	2759,32501	0,049282	0,13161	1017,36586
50,858	5,67546	0,35268	2743,08879	0,049237	0,13058	1011,9724

51,358	5,77586	0,35354	2725,57522	0,049198	0,12947	1006,43361
51,858	5,87627	0,35482	2706,77765	0,049165	0,12829	1000,73726
52,358	5,97674	0,3566	2686,52253	0,049138	0,12703	994,86782
52,858	6,07713	0,359	2664,53947	0,049116	0,12569	988,84264
53,358	6,1772	0,36209	2640,70484	0,049099	0,12426	982,74865
53,858	6,2775	0,36596	2614,80275	0,049086	0,12274	976,63298
54,358	6,37794	0,37073	2586,50324	0,049075	0,12113	970,60082
54,858	6,47809	0,37647	2555,73267	0,049067	0,11943	964,86488
55,358	6,57816	0,38339	2522,21271	0,049061	0,11763	959,83221
55,858	6,67806	0,39151	2486,23163	0,049054	0,11574	955,80843
56,358	6,77768	0,4009	2447,99344	0,049045	0,11377	953,05828
56,858	6,87702	0,41172	2407,58619	0,049034	0,1117	951,91331
57,358	6,97659	0,42417	2364,97242	0,049016	0,10954	952,7576
57,858	7,07623	0,43823	2320,45106	0,048991	0,10728	955,81255
58,358	7,17568	0,45395	2274,10355	0,048955	0,10494	961,28574
58,858	7,27473	0,47147	2225,7559	0,048904	0,10252	969,44403
59,358	7,37399	0,49087	2175,14842	0,048836	0,10001	980,09536
59,858	7,47334	0,51204	2122,34891	0,048747	0,097427	992,91057
60,358	7,57224	0,53512	2067,19178	0,048632	0,09477	1007,65753
60,858	7,67084	0,55995	2009,57427	0,048486	0,092051	1023,62618
61,358	7,76933	0,58649	1949,31888	0,048306	0,089271	1040,30588
61,858	7,8678	0,6148	1886,08953	0,048087	0,08643	1057,13325
62,358	7,96599	0,64474	1819,92014	0,047823	0,08354	1073,22102
62,858	8,06406	0,67613	1751,10656	0,047512	0,080609	1087,94816
63,358	8,162	0,70883	1679,88848	0,047152	0,077643	1100,70381
63,858	8,25962	0,74273	1606,53357	0,046735	0,074654	1110,55369
64,358	8,35766	0,77783	1530,94483	0,046258	0,07163	1116,94642
64,858	8,45563	0,81374	1453,91197	0,045723	0,068595	1119,446
65,358	8,55305	0,85013	1376,12277	0,045128	0,065572	1117,43026
65,858	8,65093	0,88717	1297,31802	0,044465	0,06254	1110,2525
66,358	8,74888	0,92444	1218,45332	0,04374	0,059522	1098,02451
66,858	8,84668	0,96167	1140,19457	0,042957	0,05653	1080,82442
67,358	8,94438	0,99862	1063,41522	0,042108	0,053579	1057,84342
67,858	9,04184	1,0351	988,46964	0,041211	0,050674	1030,53902
68,358	9,13888	1,07074	916,49749	0,040259	0,047838	998,08168
68,858	9,2359	1,10561	847,27363	0,039261	0,04506	961,50457
69,358	9,33309	1,13964	780,96022	0,038216	0,042343	920,89615
69,858	9,43072	1,17268	717,90945	0,037122	0,039697	876,34859
70,358	9,52832	1,20475	657,73653	0,035998	0,037123	829,33927
70,858	9,62538	1,2354	601,54139	0,034849	0,03466	780,25231
71,358	9,7222	1,26494	548,45328	0,033683	0,032289	730,16916
71,858	9,81894	1,29337	498,59765	0,032502	0,030015	679,55101
72,358	9,91577	1,32072	452,07358	0,03131	0,027846	629,25448
72,858	10,01233	1,34703	408,86817	0,030121	0,025782	580,26232
73,358	10,10879	1,37241	369,02289	0,028936	0,023822	533,18362
73,858	10,20592	1,39703	332,82626	0,027755	0,021964	488,77914

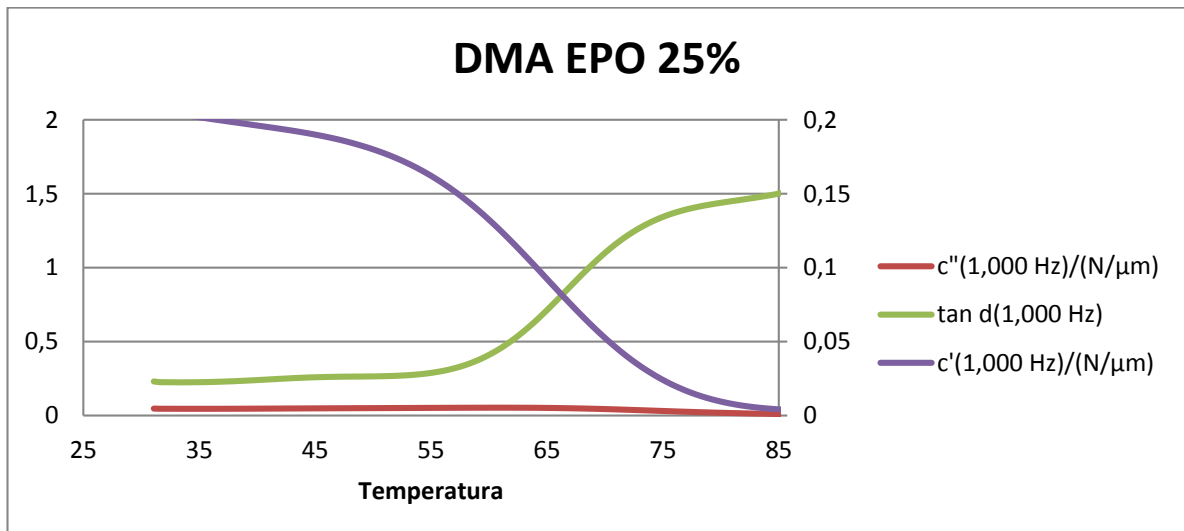
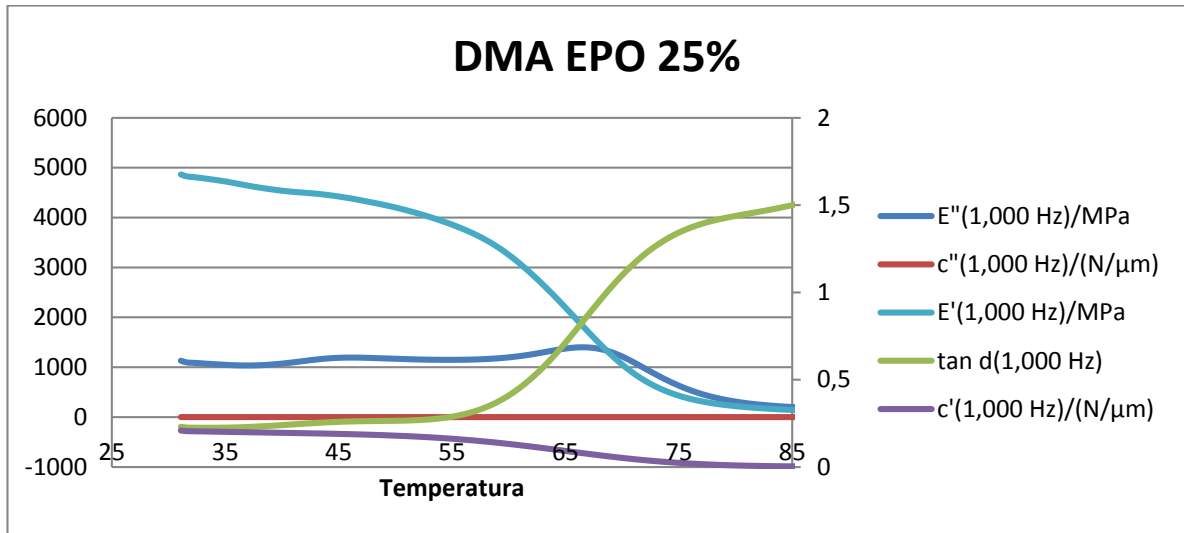


ANEXO VI

DMA de resina epóxi com 25% de L.V.

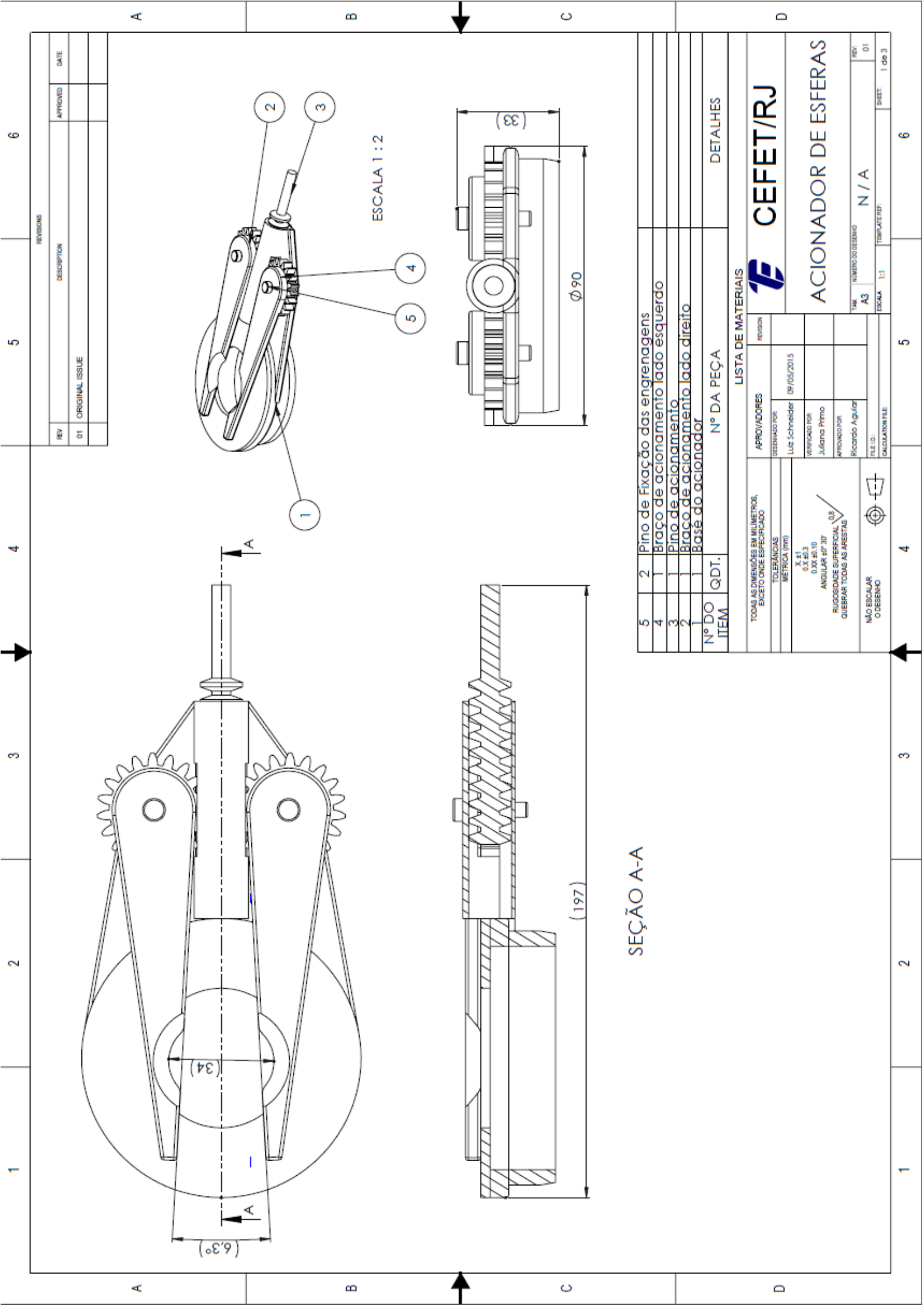
##Temp./°C	Time/min	tan d(1,000 Hz)	c''(1,000 Hz)/(N/μm)	c'(1,000 Hz)/(N/μm)	E'(1,000 Hz)/MPa	E''(1,000 Hz)/MPa
31,088	0,13	0,23031	0,047374	0,20941	4865,19603	1130,78994
31,588	1,10609	0,22568	0,046456	0,20604	4827,25475	1096,03385
32,088	1,30023	0,22505	0,046305	0,20531	4814,91289	1089,40687
32,588	1,46107	0,22466	0,046195	0,20468	4802,07346	1082,4167
33,088	1,61358	0,22442	0,046108	0,20406	4787,68678	1074,94163
33,588	1,75976	0,22437	0,046042	0,20345	4772,51776	1067,57748
34,088	1,90018	0,2245	0,045998	0,20284	4756,58728	1060,31515
34,588	2,03334	0,22481	0,045977	0,20225	4739,62645	1053,38537
35,088	2,16115	0,2253	0,045976	0,20167	4721,12249	1046,99227
35,588	2,28448	0,22599	0,045995	0,20109	4700,9944	1041,55126
36,088	2,40508	0,22687	0,046035	0,20051	4679,57996	1037,59423
36,588	2,52282	0,22794	0,046094	0,19994	4657,99434	1035,33737
37,088	2,63781	0,22919	0,046172	0,19938	4637,09308	1034,92943
37,588	2,75026	0,23061	0,046267	0,19883	4617,44845	1036,55295
38,088	2,86083	0,23219	0,046379	0,19828	4599,22555	1040,36461
38,588	2,97092	0,23393	0,046508	0,19773	4582,13172	1046,27049
39,088	3,08082	0,23581	0,046654	0,19718	4566,00858	1054,15968
39,588	3,19044	0,2378	0,046813	0,19663	4550,85431	1063,68118
40,088	3,2998	0,23989	0,046985	0,19608	4536,96873	1074,63823
40,588	3,40793	0,24201	0,047167	0,19552	4524,93409	1086,82173
41,088	3,51559	0,24416	0,047357	0,19496	4514,46882	1100,01873
41,588	3,62291	0,24631	0,047553	0,1944	4505,13185	1113,93719
42,088	3,72977	0,24843	0,047754	0,19382	4496,46222	1128,27446
42,588	3,83641	0,25047	0,047958	0,19323	4487,50798	1142,45166
43,088	3,94292	0,25242	0,048162	0,19262	4477,27082	1155,64689
43,588	4,04931	0,25424	0,048365	0,19198	4465,33829	1167,18463
44,088	4,15491	0,25588	0,048562	0,19132	4451,65629	1176,52496
44,588	4,26032	0,25736	0,048756	0,19063	4436,55331	1183,7437
45,088	4,3657	0,25865	0,048944	0,1899	4420,19958	1188,81243
45,588	4,47076	0,25976	0,049127	0,18914	4402,56994	1191,83828
46,088	4,57566	0,26069	0,049303	0,18833	4383,42725	1192,99588
46,588	4,68032	0,26146	0,049474	0,18748	4362,86457	1192,46565
47,088	4,78506	0,26208	0,049639	0,18658	4341,34753	1190,54527
47,588	4,89056	0,26258	0,049802	0,18561	4319,26324	1187,63476
48,088	4,99659	0,263	0,049962	0,18458	4296,73925	1184,02234
48,588	5,10215	0,26338	0,050118	0,18348	4273,74942	1180,10096
49,088	5,20637	0,26374	0,050271	0,18233	4250,0007	1176,22426
49,588	5,3094	0,26415	0,050421	0,18112	4224,98729	1172,48767
50,088	5,41187	0,26465	0,05057	0,17983	4198,36505	1168,79599
50,588	5,5142	0,26529	0,050719	0,17846	4170,09144	1165,05641
51,088	5,61613	0,26612	0,050868	0,17701	4140,38075	1161,33536
51,588	5,71819	0,26723	0,051019	0,17546	4109,29691	1157,81462
52,088	5,82012	0,26868	0,051172	0,17382	4077,04228	1154,7761
52,588	5,92171	0,27053	0,051327	0,17208	4043,59203	1152,31693

53,088	6,02286	0,27287	0,051484	0,17024	4008,68937	1150,43417
53,588	6,12382	0,2758	0,051643	0,1683	3972,00634	1149,07504
54,088	6,2248	0,27941	0,051803	0,16623	3933,42043	1148,18515
54,588	6,32558	0,28376	0,051965	0,16406	3893,09468	1147,75217
55,088	6,42619	0,28895	0,052126	0,16177	3850,982	1147,83555
55,588	6,52734	0,29522	0,052288	0,15934	3806,53044	1148,60803
56,088	6,62811	0,30253	0,052447	0,15679	3759,80626	1150,07982
56,588	6,72846	0,31098	0,052602	0,15413	3710,35637	1152,34354
57,088	6,82892	0,3208	0,052751	0,15133	3657,20347	1155,5781
57,588	6,92916	0,33207	0,052892	0,1484	3600,0472	1159,8411
58,088	7,0292	0,34485	0,053023	0,14535	3538,41266	1165,19763
58,588	7,12918	0,35921	0,053142	0,14217	3471,93675	1171,69317
59,088	7,22922	0,37537	0,053245	0,13885	3399,82543	1179,49939
59,588	7,32934	0,39345	0,053327	0,13541	3321,7802	1188,75653
60,088	7,42915	0,4134	0,053387	0,13185	3238,34744	1199,54139
60,588	7,52879	0,43521	0,053421	0,12819	3149,79446	1211,95266
61,088	7,62852	0,4591	0,053425	0,12442	3055,96644	1226,20828
61,588	7,72822	0,48515	0,053392	0,12055	2957,26759	1242,34595
62,088	7,82758	0,51301	0,053322	0,1166	2855,03451	1260,04062
62,588	7,92672	0,54282	0,05321	0,11259	2749,28384	1279,26506
63,088	8,02652	0,57488	0,053046	0,10847	2639,20073	1299,81581
63,588	8,1254	0,60845	0,052832	0,10434	2527,01984	1320,55277
64,088	8,22401	0,64356	0,052564	0,10018	2412,37412	1340,82414
64,588	8,32363	0,68062	0,05223	0,095948	2293,92831	1359,89062
65,088	8,42269	0,71879	0,051829	0,091721	2174,08495	1376,09296
65,588	8,52134	0,7578	0,051366	0,087506	2053,30035	1388,86674
66,088	8,62007	0,79771	0,050826	0,0833	1931,43191	1396,63794
66,588	8,71834	0,83787	0,050215	0,07914	1810,11998	1398,53634
67,088	8,81627	0,87809	0,049535	0,075029	1689,83055	1394,24591
67,588	8,91439	0,91823	0,048772	0,070967	1571,09157	1382,02289
68,088	9,01226	0,95776	0,047937	0,066982	1455,36853	1362,05814
68,588	9,10994	0,99649	0,047033	0,063079	1343,16507	1334,63849
69,088	9,20776	1,03405	0,04605	0,059269	1235,71093	1298,39861
69,588	9,30533	1,07019	0,045006	0,055567	1133,65379	1255,07911
70,088	9,40265	1,10468	0,043902	0,051984	1037,59237	1205,23472
70,588	9,50019	1,13734	0,042733	0,048524	948,13858	1149,26751
71,088	9,59775	1,16825	0,041517	0,045185	864,82435	1089,6507
71,588	9,69517	1,19722	0,040259	0,041984	788,09507	1027,50854
72,088	9,79217	1,22398	0,038966	0,038948	718,65164	964,55111
72,588	9,8888	1,24885	0,037653	0,036055	655,29041	902,07018
73,088	9,98515	1,27173	0,036321	0,033316	598,16526	840,93301
73,588	10,08178	1,29271	0,03497	0,030724	546,87884	781,90481
74,088	10,17839	1,31194	0,033613	0,028275	500,74778	725,62995
74,588	10,27498	1,3295	0,032254	0,025966	459,33452	672,3722
75,088	10,372	1,34533	0,030895	0,023805	422,59464	622,61329
75,588	10,46883	1,35968	0,02955	0,021781	389,6829	576,26253



ANEXO VII

Desenho de fabricação do mecanismo de acionamento



REVISIONS			
REV	DESCRIPTION	APPROVED	DATE
01	ORIGINAL ISSUE		

ESCALA 1 : 2

SEÇÃO A-A

Nº DO ITEM	QDT.	Nº DA PEÇA	DETALHES
5	2	Pino de Fixação das engrenagens	
4	1	Braço de acionamento lado esquerdo	
3	1	Pino de acionamento	
2	1	Braço de acionamento lado direito	
1	1	Base do acionador	

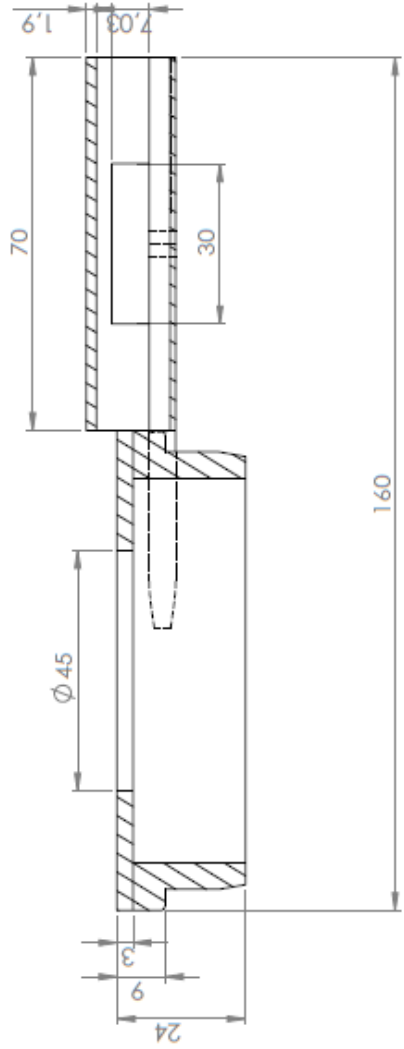
LISTA DE MATERIAIS	
APROVAÇÃO POR	REVISÃO
DESENHADO POR	09/05/2015
VERIFICADO POR	
JULIANA PRIMO	
APROVADO POR	
RICARDO AGUIAR	
FILE I.D.	
CALCULADO POR	
TODAS AS DIMENSÕES EM MILÍMETROS, EXCETO ONDE ESPECIFICADO	
TOLERÂNCIAS MÉTRICA (mm)	
X .41	
0.X .40/3	
0.00 .40/10	
ANGULAR 40° 30'	
RUGOSIDADE SUPERFICIAL	0.8
QUEBRAR TODAS AS ARESTAS	
NÃO ESCALAR O DESENHO	



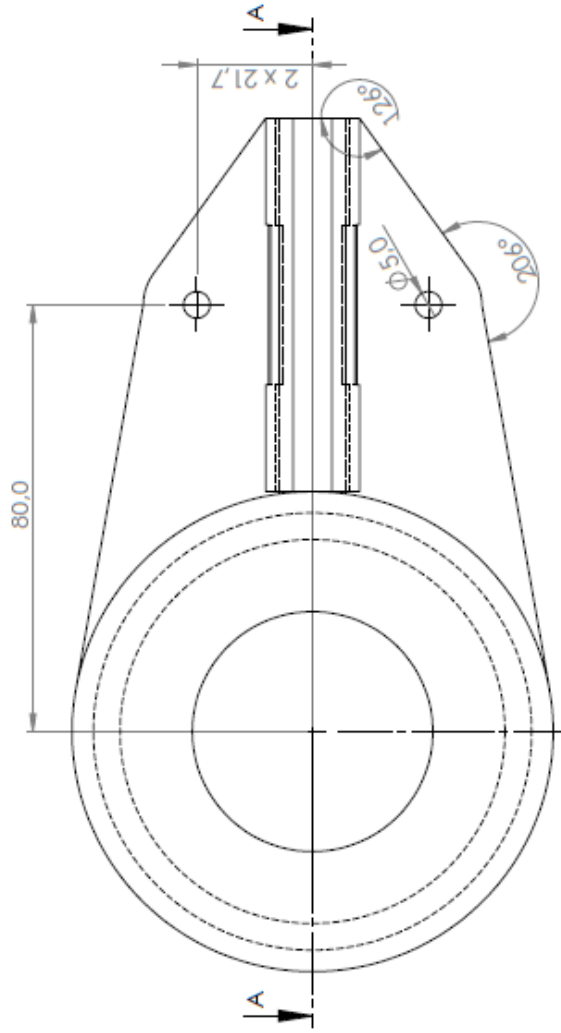
ACIONADOR DE ESFERAS

TAM	NUMERO DO DESENHO	REV.
A3	N / A	01
ESCALA	1:1	TEMPLETE (REF)
		SHEET: 1 de 3

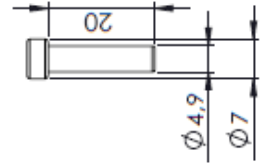
ITEM 1



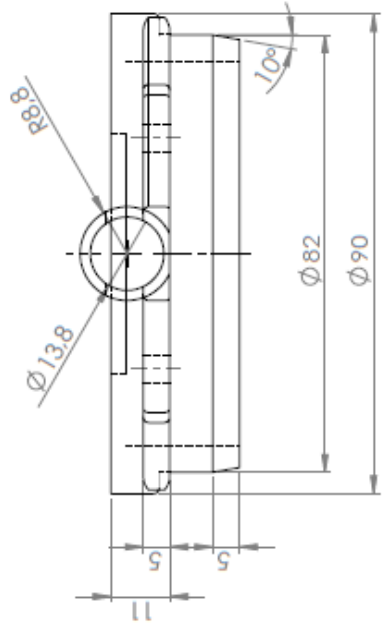
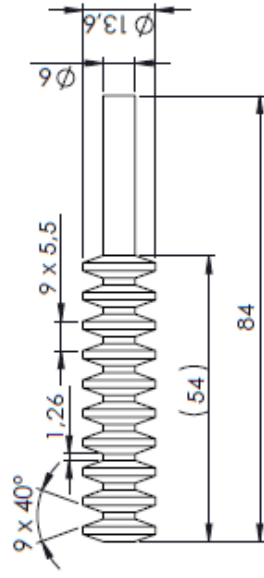
SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 1



ITEM 5

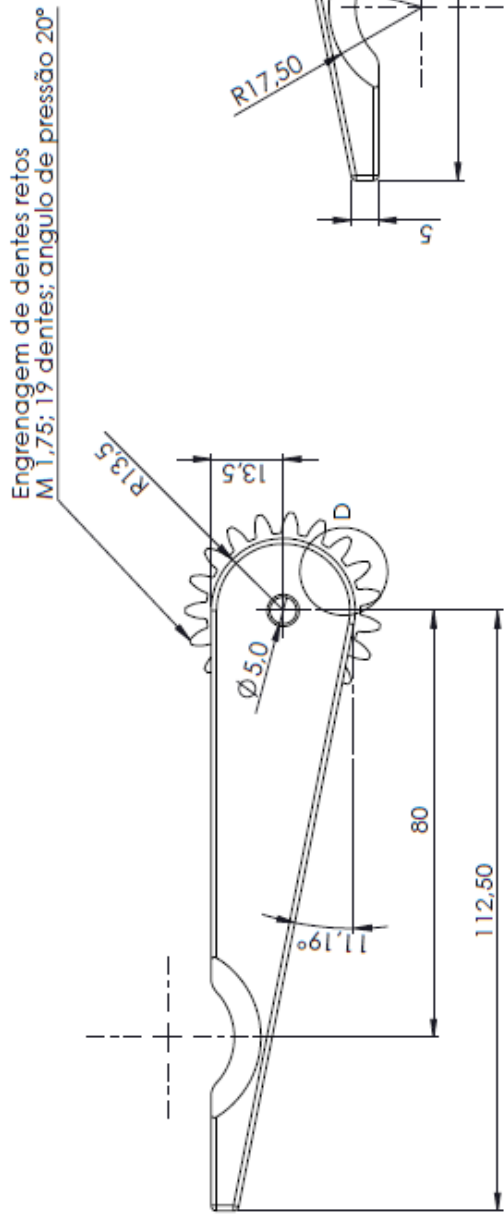


ITEM 3



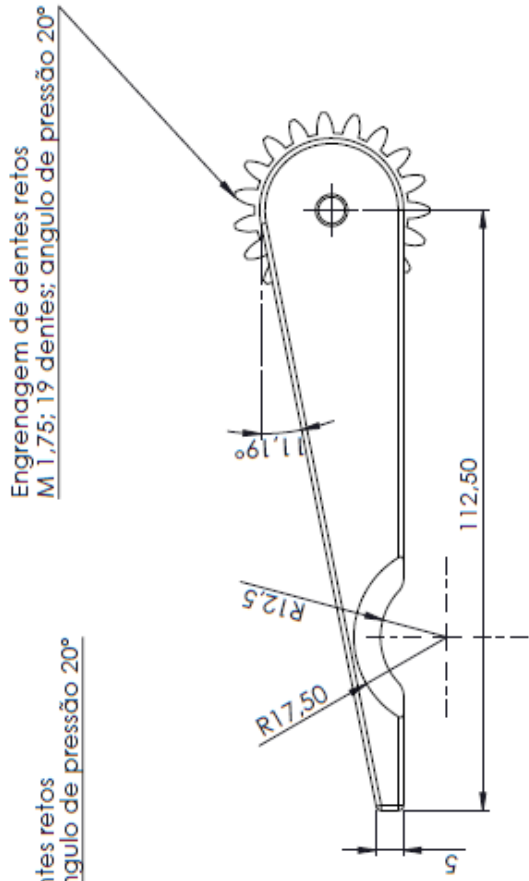
DESENHADO POR: LUB H SCHREIBER	DATA: 09/05/2015	ITEM: A3	ITEM: ACIONADOR DE ESFERAS	REV: 1
FILETID:	CALCULADO POR:	SCALE: 1:1	TEMPLATERY:	SHEET: 2-08-3

ITEM 4



DETALHE D
ESCALA 2 : 1

ITEM 2



DESENHADO POR: LUIZ H. SCHNEIDER	DATA: 07/05/2015	ITEM ACIONADOR DE ESFERAS	REV: 1
FILETID:	CALCULADOR/FILE:	SCALE 1:1	TEMPLETE/FIT: 3 0x3