

# ANÁLISE DE MATERIAIS PARA CONFEÇÃO DO CESTO DO BALÃO METEOROLÓGICO HAB-IMT

Gabriela Carolina Gobbo <sup>1</sup>; Vitor Alex Oliveira Alves <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluna de Iniciação Científica da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT);

<sup>2</sup> Professor da Escola de Engenharia Mauá (EEM/CEUN-IMT).

**Resumo.** *A estratosfera é a segunda maior camada da atmosfera e sua temperatura varia entre 10°C e -50°C. O HAB- IMT é um projeto do Instituto Mauá de Tecnologia que tem por objetivo realizar lançamentos científicos para a estratosfera. Para isso utiliza-se um balão meteorológico o qual é amarrado ao paraquedas e ao cesto confeccionado para os experimentos. Logo a escolha do melhor material que comporá a estrutura é de fundamental importância visto cada material possui suas particularidades e a influência de determinado ambiente pode prejudicar sua performance. Neste presente artigo foram estudados os materiais ABS, PLA, TPU, XPS e EPS os quais foram submetidos aos ensaios de tração compressão e impacto em temperatura ambiente e posteriormente foram resfriados e novamente submetidos aos mesmos ensaios. Os resultados apresentados mostram que a resistência mecânica dos materiais diminui ao serem submetidos ao resfriamento.*

## Introdução

A atmosfera do globo terrestre é constituída por cinco tipos de camadas: troposfera, estratosfera, mesosfera, termosfera e exosfera. A estratosfera é a segunda maior camada da atmosfera terrestre e se encontra entre uma faixa de 15 km a 50 km de altitude. Além disso, a faixa de temperatura varia entre -50°C para altitudes mais baixas e 10°C para altitudes mais altas. Isso se deve, pois, a camada de ozônio está presente na estratosfera. Logo, para altitudes mais elevadas, antes da camada de ozônio, as temperaturas são maiores devido a intensa radiação e, logo após a camada de ozônio as temperaturas decaem. A camada de ozônio está presente a uma altitude de 20 km a 35 km e sua função é filtrar a radiação solar em alguns comprimentos de onda que são prejudiciais para a saúde humana.

Para estudar mais a fundo sobre a estratosfera e suas características intrínsecas, bem como submeter experimentos científicos ou coletar amostras neste meio, uma das formas mais baratas de efetuar tal estudo é através de um balão meteorológico. O balão meteorológico serve para transporte de objetos ou equipamentos que serão submetidos ao clima da estratosfera para que possam realizar análises para posterior estudo mais aprofundado. O balão meteorológico possui diversos tamanhos para alcançar determinadas altitudes e, para atingir tal objetivo, geralmente são enchidos com hélio ou hidrogênio. Logo, para altitudes mais altas, o diâmetro do balão deve ser maior do que para altitudes mais baixas. Isso se deve pois, quanto maior a altitude, menor a pressão atmosférica e maior deverá ser o diâmetro do balão, já que o gás contido no mesmo ocupará maior volume a medida que a altitude aumentar, fazendo com que o balão se expanda cada vez mais até que exceda os limites da elasticidade da borracha e o balão exploda.

Mediante este assunto, o HAB-IMT (High Altitude Balloon – Instituto Mauá de Tecnologia) é um projeto desenvolvido por alunos e professores do Instituto Mauá de Tecnologia o qual tem como principal objetivo o lançamento de experimentos científicos, através de um balão meteorológico, a fim de submetê-los a ações climáticas da estratosfera. Para o desenvolvimento de tal atividade, confecciona-se um cesto onde serão armazenados equipamentos eletrônicos, submetidos a estratosfera, para a medição de temperatura, pressão, intensidade da radiação ultravioleta, dentre outros parâmetros. O cesto confeccionado é amarrado ao paraquedas e este é amarrado ao balão de grande altitude.

Para que a confecção do cesto para o lançamento, bem como o uso de materiais que comporão a estrutura do projeto, uma análise deve ser feita sobre cada tipo de material que poderá ser utilizado visto que, as ações climáticas da estratosfera são distintas das ações climáticas da troposfera, esta última é camada a qual o ser humano vive. A exemplo disso, em baixas temperaturas, alguns materiais sofrem rápido resfriamento, o que prejudica na proteção dos equipamentos eletrônicos que não suportam temperaturas muito baixas. Além disso, também deve ser levado em conta a resistência mecânica que o material possui, já que, ao subir em direção à estratosfera o cesto é submetido a ventos de alta velocidade e, ao descer em direção à terra o cesto deve resistir ao impacto contra o chão. Um dos materiais mais utilizados no projeto são materiais poliméricos. Um material polimérico é formado por polímeros que são macromoléculas formadas a partir de unidades estruturais menores (monômeros). Os monômeros são moléculas de baixo peso molecular os quais, a partir das reações de polimerização, vêm a gerar a macromolécula polimérica. Há diversos tipos de materiais poliméricos e cada um possui diferentes características que os distinguem um dos outros. Atualmente, para a confecção externa do cesto utiliza-se o material EPS e para a confecção interna utiliza-se o ABS.

Neste presente artigo, foram estudados cinco tipos de materiais que possuem grande potencial para serem utilizados na confecção do projeto. Destacam-se o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), ácido polilático (PLA), termoplástico de poliuretano (TPU), poliestireno extrudido (XPS) de densidade  $40 \text{ kg.m}^{-3}$  e poliestireno expandido (EPS) de densidade de  $30 \text{ kg.m}^{-3}$ .

O filamento acrilonitrila butadieno estireno (acrylonitrile butadiene styrene, em inglês) mais conhecido como ABS, é um material obtido a partir do petróleo. É um polímero bastante utilizado em empresas devido a suas boas propriedades mecânicas.

O ácido polilático ou PLA é produzido a partir de recursos renováveis e biodegradáveis, como amido de milho ou cana-de-açúcar, dentre outros. É produzido a partir de um processo combinado de oligomerização e ciclização. Além disso, o PLA é muito utilizado no meio da medicina substituindo alguns implantes que causam infamações.

O termoplástico de poliuretano (TPU) é um polímero composto por cadeias de unidades orgânicas unidas por ligações uretânicas. É um polímero extremamente versátil pois tanto como produtos mais rígidos (ex.: borracha), como produtos mais flexíveis (ex.: espumas) podem ser fabricados com esse tipo de material.

O poliestireno é popularmente conhecido como isopor. Este é comumente utilizado para acondicionamento de bebidas, baldes para gelo, copos, materiais de construção, etc. O poliestireno expandido (EPS) e o poliestireno extrudido (XPS) são materiais classificados dentro do grupo poliestireno. A diferença entre ambos varia no processo de produção desses materiais. O poliestireno extrudido, também conhecido pela sigla XPS é uma espuma a qual possui uma estrutura celular rígida e homogênea. O XPS é muito utilizado na área de construção civil por ser um excelente isolante térmico e acústico. O poliestireno expandido, também conhecido pela sigla EPS é um plástico com estrutura celular rígida e derivado do petróleo. Como o XPS, o EPS também é muito utilizado na área de construção civil por ser um excelente isolante térmico e acústico.

Com o objetivo de analisar a performance dos materiais apresentados, foram realizados ensaios de compressão, tração e impacto em temperatura ambiente para cada tipo de material. Posteriormente, foram realizados ensaios de tração, compressão e impacto com os corpos de prova de cada material submetidos à baixas temperaturas. Devido à falta de estudo sobre este assunto, alguns dos resultados obtidos por meio dos ensaios, não foram possíveis compará-los com os da literatura.

## Materiais e Métodos

Os ensaios de tração, compressão e impacto foram realizados no laboratório de ensaios mecânicos do Instituto Mauá de Tecnologia, localizado em São Caetano do Sul no estado de São Paulo.

Os ensaios de tração e compressão foram realizados na máquina de modelo EMIC 23-50, marca INSTRON/EMIC e de capacidade máxima de 49033,25 N. O programa utilizado que mostra os resultados de cada teste é denominado Bluehill Universal. As dimensões dos corpos de prova para o ensaio de tração foram baseadas seguindo a norma ASTM: D638 e para o ensaio de compressão foi utilizada a norma ASTM: D695.

Os ensaios de impacto foram realizados na máquina denominada Model Impact 104 e de resolução de 0,0001 J. No painel do próprio equipamento os resultados do ensaio eram calculados e apresentados. As dimensões dos corpos de prova foram baseadas seguindo a norma ASTM: D256.

Para o primeiro ensaio, os corpos de prova de cada material foram imediatamente ensaiados. Mediu-se a temperatura do ambiente em que o corpo de prova estava e foi pesquisado a pressão da cidade de São Caetano. Logo, no dia do ensaio a temperatura era de 23°C e a pressão 92300 Pa.

O segundo ensaio, foram utilizados gelo seco, acetona, duas bacias metálicas de tamanhos diferentes, um recipiente metálico, isopor, termômetro analógico, termômetro a laser, uma tampa metálica e equipamentos de segurança. Primeiramente, a bacia de menor tamanho foi posta dentro da bacia de maior tamanho. O espaço entre as bacias foi preenchido com isopor. Posteriormente, o recipiente metálico foi posto dentro da bacia de menor tamanho. O espaço entre esses dois componentes foi preenchido com gelo seco e acetona. Os corpos de prova foram postos dentro do recipiente metálico e tampou-o. Com o auxílio do termômetro analógico, foi possível verificar a temperatura a qual o corpo de prova foi submetido resultando em -30°C. Os corpos de prova foram retirados do recipiente metálico para realização do ensaio após atingirem uma temperatura de -10°C, medido com o auxílio do termômetro a laser.

## Resultados e Discussão

### Ensaio de Tração

O ensaio de tração consiste em submeter os corpos de prova a um esforço uniaxial que tende alongá-lo até a fratura. Logo, com o rompimento do corpo de prova, o programa do equipamento calcula e mostra o resultado da força máxima que o corpo de prova suporta. A partir dos ensaios realizados, foi possível resultar nos valores da tabela a seguir.

Tabela 1 – Média de resultados obtidos para cada material a temperatura ambiente

	Média da força (N)	Média do deslocamento (m)	Média de tensão à tração (Pa)	Desvio padrão das forças de tração (Pa)	Variância das forças de tração
<b>ABS</b>	1053,95	0,0081	1,38E+13	4,16E+11	1,7288E+23
<b>PLA</b>	1466,15	0,0071	1,91E+13	1,23E+12	1,5059E+24
<b>TPU</b>	872,15	0,4151	1,20E+13	1,09E+12	1,1898E+24
<b>XPS</b>	52,25	0,0035	4,40E+11	2,67E+10	7,1389E+20
<b>EPS</b>	43,58	0,0055	3,80E+11	1,07E+11	1,1469E+22

Para cada material, cinco corpos de prova foram submetidos ao ensaio de tração. Logo, com o objetivo de comparar os resultados obtidos entre os cinco tipos de materiais, gerou-se uma tabela com a média de resultados para cada material.

Através da Tabela 1, em relação a coluna da média da tensão à tração, é possível notar que o material que mais resiste ao rompimento PLA e o que menor resiste é o EPS. Além disso, é importante notar que o material TPU foi o que sofreu maior alongamento. Isto é mostrado na coluna de média de deslocamento.

A Tabela 2 a seguir mostra os resultados obtidos do ensaio de tração com os corpos de prova submetidos a um ambiente de  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 2 – Média de resultados obtidos para cada material a uma temperatura ambiente de  $-30^{\circ}\text{C}$

	Média de força (N)	Desvio padrão da força de tração (N)	Variância da força de tração
<b>ABS</b>	326,85	9,25E+01	8,55E+03
<b>PLA</b>	1696,55	6,06E+02	5,51E+05
<b>TPU</b>	800,2	7,03E+02	6,72E+05

Pode-se notar que não há resultados para os materiais XPS e EPS. Isto se deve, pois, ao retirar ambos os materiais do ambiente resfriado e medir a temperatura de cada um deles, a temperatura rapidamente aumentava. A mínima temperatura medida para estes materiais foi de  $18^{\circ}\text{C}$ . Foi realizada uma tentativa em que os corpos de prova se submeteram a um resfriamento durante 16 horas, porém a temperatura permanecia nos  $18^{\circ}\text{C}$ .

Ao analisar a tabela, pode-se notar que o material ABS sofreu mais alteração em sua resistência à força. Comparando com a tabela 1, a força decaiu extremamente, o que possivelmente pode-se concluir que o ABS se tornou mais quebradiço com o resfriamento. Em relação ao material TPU não houve grandes alterações nos resultados obtidos com o resfriamento, comparando com os resultados da Tabela 1. Com o resfriamento, os materiais poliméricos tornam-se rígidos, logo pode-se concluir que o aumento da força de ruptura para o material PLA se deve ao possível aumento da rigidez do material e, portanto, maior foi a força para rompê-lo.

#### Ensaio de compressão

Ao contrário do ensaio de tração, o ensaio de compressão consiste em submeter os corpos de prova a um esforço axial, que tende a provocar o encurtamento do material submetido a este esforço. Logo, o programa do equipamento calcula e mostra a força máxima que o corpo de prova suporta à compressão. A partir dos ensaios realizados, foi possível resultar nos valores da tabela a seguir.

Tabela 3 - Média de resultados obtidos para cada material a temperatura ambiente

	Média da força (N)	Média do deslocamento (m)	Média de tensão à compressão (Pa)	Desvio padrão das forças de compressão (Pa)	Variância das forças de compressão
<b>ABS</b>	45005,14	0,0057	1,59E+13	0,00E+00	0,00E+00
<b>PLA</b>	45008,25	0,0045	1,59E+13	0,00E+00	0,00E+00
<b>TPU</b>	15249,37	0,02	5,39E+12	3,82E+10	3,82E+10
<b>XPS</b>	1546,17	0,02	5,48E+11	7,48E+09	5,60E+19
<b>EPS</b>	1183,35	0,02	4,20E+11	7,07E+09	5,00E+19

Para cada material, cinco corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão. Logo, com o objetivo de comparar os resultados obtidos entre os cinco tipos de materiais, gerou-se uma tabela com a média de resultados para cada material.

Para os materiais TPU, XPS e EPS, foram fixadas um deslocamento de 0,02 metros, ou seja, os corpos de prova desses materiais sofreriam compressão até que a diferença entre a altura final e inicial do corpo de prova fosse igual a 0,02 metros. Isto foi feito pois, os três materiais são mais facilmente comprimidos do que os materiais ABS e PLA, o qual estes últimos são extremamente mais rígidos. Para o ensaio com os materiais ABS e PLA, foi estipulado que a máxima tensão à tração não deveria ultrapassar do valor de  $1,592 \times 10^{13}$  Pa. Isto se deve, pois, a capacidade máxima do equipamento é de 49033,25 N, e aproximando-se deste valor, a máquina se desligaria. Pode-se notar pela tabela que, na coluna média da força, o ABS e o PLA se aproximam da capacidade máxima da máquina.

Analisando a tabela como um todo, pode-se notar que o PLA é o material mais rígido dentre todos os outros. E o material menos rígido é o EPS. Comparando os materiais ABS e PLA, na coluna de média do deslocamento, percebe-se que o PLA obteve uma diferença de altura do corpo de prova menor do que a diferença de altura do corpo de prova do ABS. Comparando os materiais TPU, XPS e EPS, o TPU suportou a maior força de compressão.

A Tabela 4 a seguir mostra os resultados obtidos do ensaio de compressão com os corpos de prova submetidos a um ambiente de  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Tabela 4 – Média de resultados obtidos para cada material a uma temperatura ambiente de  $-30^{\circ}\text{C}$

	<b>Média de força (N)</b>	<b>Desvio padrão da força de compressão (N)</b>	<b>Variância da força de compressão</b>
<b>ABS</b>	5124,81	7,80E+02	6,08E+05
<b>PLA</b>	5342,09	4,17E+02	1,74E+05
<b>TPU</b>	3152,45	4,79E+02	2,30E+05

Pode-se notar que não há resultados para os materiais XPS e EPS. Isto se deve à mesma justificativa mencionada no tópico de ensaio de tração. Comparando as tabelas 3 e 4 percebe-se que houve um grande decréscimo dos resultados obtidos. Logo, como no ensaio de tração, é possível concluir que ao submeter os corpos de prova ao resfriamento, o material contrai tornando-os mais suscetíveis à quebra. Realizando uma análise comparativa dentre os três materiais da Tabela 4, percebe-se que o material que possuiu mais resistência à compressão foi o PLA.

#### Ensaio de impacto

O ensaio de impacto Izod consiste na submissão do corpo de prova ensaiado entalhado e padronizado a uma força brusca e repentina, normalmente causada por um martelo pendular que o rompe. O ensaio determina a energia utilizada na deformação e ruptura desse corpo e, quanto menor for essa energia, mais frágil será a resistência do material. Logo, o programa do equipamento calcula e mostra a força máxima que o corpo de prova suporta ao impacto. A partir dos ensaios realizados, foi possível resultar nos valores da tabela a seguir.

Tabela 5 - Média de resultados obtidos para cada material a temperatura ambiente

	<b>Média de energia de impacto (J)</b>	<b>Desvio padrão da energia de impacto (J)</b>	<b>Variância da energia de impacto</b>
<b>ABS</b>	0,3307	4,59E-02	2,11E-03
<b>PLA</b>	0,0593	1,33E-02	1,76E-04
<b>TPU</b>	1,3794	1,88E-01	3,54E-02
<b>XPS</b>	0,0122	7,14E-04	5,10E-07
<b>EPS</b>	0,0063	1,41E-03	2,00E-06

Para cada material, cinco corpos de prova foram submetidos ao ensaio de compressão. Logo, com o objetivo de comparar os resultados obtidos entre os cinco tipos de materiais, gerou-se uma tabela com a média de resultados para cada material.

Analisando a tabela acima é possível notar que o material mais resistente ao impacto é o TPU e o material menos resistente ao impacto é o EPS.

A Tabela 6 a seguir mostra os resultados obtidos do ensaio de impacto com os corpos de prova submetidos a um ambiente de -30°C.

Tabela 6 - Média de resultados obtidos para cada material a uma temperatura ambiente de -30°C

	<b>Média de energia de impacto (J)</b>	<b>Desvio padrão da força da energia de impacto (J)</b>	<b>Variância da energia de impacto</b>
<b>ABS</b>	0,0801	1,05E-03	1,10E-06
<b>PLA</b>	0,0528	2,31E-03	5,34E-06
<b>TPU</b>	0,0530	1,25E-02	1,55E-04

Pode-se notar que não há resultados para os materiais XPS e EPS. Isto se deve à mesma justificativa mencionada no tópico de ensaio de tração. Comparando as Tabelas 5 e 6, O ABS e o TPU foram os materiais que mais sofreram influência do resfriamento. Na Tabela 5 o TPU, em temperatura ambiente é o material que suportou a maior força de impacto e, após o resfriamento, é o material que menos suportou a força de impacto.

#### Desvio padrão e Variância

Desvio padrão pode ser definido como uma medida de dispersão, ou seja, indica o quanto um conjunto de dados está distribuído de maneira uniforme. A variância também é uma medida de dispersão; calculando o desvio padrão é possível obter a variância elevando o desvio padrão ao quadrado

Mediante esta informação, para cada material foi obtido os resultados em cada ensaio e logo foi possível obter o desvio padrão e a variância das amostras ensaiadas. É importante notar que, para valores altos, o desvio padrão é elevado. Isto se deve, pois, a mínima variação entre esses resultados afeta significativamente o resultado do desvio padrão e variância. O mesmo acontece para valores muito pequenos, de forma a retornar valores muito baixo para o desvio padrão.

Além disso, nota-se que na Tabela 3 o desvio padrão e a variância dos materiais ABS e PLA resultou em um valor nulo. Como foi mencionado anteriormente, foi fixado um valor de tensão máxima de 1,592e+13 Pa visto que a capacidade máxima do equipamento do ensaio era de 49033,25 N. Logo, com o valor fixado não há variação de resultados para força de compressão e portanto o desvio padrão e variância são iguais a zero.

## Conclusão

Os resultados mostraram que, para cada ensaio, um determinado material obteve maior resistência mecânica. Porém, é evidente que ao submeter os corpos de prova ao resfriamento, sua resistência mecânica diminuiu.

Devido a falta de dados na literatura sobre este assunto, não foi possível realizar uma comparação com dados de outros artigos com os resultados obtidos de alguns materiais.

Em relação ao PLA, em alguns artigos acadêmicos, ao submeter o material ao ensaio de tração o resultado obtido foi de  $5,8e+13$  Pa. Nos ensaios de compressão, o resultado foi de  $4,0e+13$  Pa segundo Abbas, Othman e Ali (2017). Ambos os valores foram obtidos em ensaios de temperatura ambiente. Comparando-os com os valores apresentados neste artigo percebe-se que há um desvio considerável com os valores encontrados em outros artigos.

Em relação ao material ABS, segundo Galvan et. al. (2011) a máxima tensão que este material suporta é de  $7e+12$  Pa em temperatura ambiente. Este valor é mais baixo do que o valor apresentado neste relatório.

De acordo com Júnior (2014), o material TPU possui uma resistência a tração em temperatura ambiente de  $2,3e+13$  Pa. Este valor é muito próximo daquele apresentado neste artigo.

Para o material EPS, de acordo com Bergel (2016), o material EPS possui uma resistência a tração em temperatura ambiente de  $7,36e+11$  Pa o qual é um valor acima daquele apresentado neste artigo.

Dados para ensaios com XPS, além de dados referentes ao ensaio ao impacto, e ensaios de tração, compressão e impacto com corpos de provas submetidos ao resfriamento não foram encontrados em artigos acadêmicos.

Pode-se concluir através desta análise que a influência de fatores como, mau posicionamento do corpo de prova no equipamento, má calibração do equipamento, bem como falta tempo para realização dos ensaios, podem ter prejudicado na obtenção de resultados mais concretos e confiáveis.

Além disso, para o projeto HAB-IMT, para a confecção externa do cesto, o melhor material a ser utilizado é o XPS. O mesmo possui propriedades semelhantes ao EPS além de ter uma resistência mecânica melhor do que o EPS. Para a confecção interna do cesto, o ABS, PLA e TPU possuem propriedades muito semelhantes, porém não é possível determinar qual é melhor, visto que para cada ensaio, cada um deles mostrou performances diferentes.

## Referências Bibliográficas

BERGEL, SANTANA e LUZ (2016). Estudo comparativo das propriedades físicas e mecânicas de embalagens expandidas biodegradáveis de amido de batata, mandioca e milho. 7 pg. Departamento de Engenharia dos Materiais.

BAICH, MANOGHARAN e MARIE (2015). Study of infill print design production cost-time of 3D printed ABS parts. Int. J. Rapid Manufacturing, Vol. 5, Nos. 3/4, 2015

ABBAS, OTHMAN e ALI (2017). Influence of Layer Thickness on Compression Property 3D – Printed PLA. Al-Muhandis Journal. JMISE 154 (4). December 2017

JÚNIOR (2014). Avaliação das propriedades mecânicas e emissão de ruído de roldanas poliméricas de POM/TPU utilizadas na indústria moveleira. Universidade de Caxias do Sul.

GALVAN et. al. (2011). Estudo nas condições de processamento nas propriedades de nanocompósitos de ABS e argilas organofílicas. Universidade Estadual de Campinas.

BARRY e CHORLEY (2013). Atmosfera, tempo e clima. 3º edição. Bookman

ZIEMIAN, SHARMA e ZIEMIAN. Anisotropic Mechanical Properties of ABS Parts Fabricated by Fused Deposition Modeling. Duke University – USA.

CHEN et. al. (2015). Static and dynamic mechanical properties of expanded polystyrene.

GARLOTTA (2001). A literature review of poly(lactic acid). Journal of Polymers and the Environment, Vol. 9, No. 2, April 2001