



## Seleção de Materiais aplicada à um projeto de um tirante para uso espacial.

SILVA, I.C.F.S.<sup>1</sup>, GREGO A.F.G.<sup>2</sup>, GUIMARAES S.G.<sup>2</sup>, NONO, M.C.A.<sup>3</sup>, NONO  
, D.A.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Doutorado do curso de Ciência e Tecnologia de Materiais e Sensores - CMS.

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil  
Aluno de Doutorado do curso de Engenharia e Gerenciamento de Sistemas Espaciais- CSE

<sup>3</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil

Daniel.nono@inpe.br

---

**Resumo.** A seleção de materiais é uma das principais tarefas de um projeto espacial, pois dela dependerá o sucesso das missões. Decisões inadequadas ou inapropriadas podem ser desastrosas, tanto do ponto de vista econômico como de ponto de vista de segurança. O objetivo deste trabalho é selecionar o material adequado à fabricação de um tirante. Este tirante seria utilizado numa situação hipotética, ao qual sustentaria um computador instalado em uma estação espacial. Para tal, foi utilizado o método de Ashby, aonde a tensão de trabalho foi estimada, o índice de mérito foi calculado e com auxílio do Software “CES Edupack”, um mapa de propriedades foi gerado. Os resultados apontaram quatro possíveis materiais: ligas de alumínio, nitreto de alumínio, alumina e ligas de titânio. Foi concluído que a liga de alumínio 6061 seria a escolha ideal por suportar a tensão, apresentar baixa massa específica e ser de menor custo de aquisição e maquinação.

---

**Palavras-chave:** Seleção de materiais, Estruturas espaciais.

### 1. Introdução

A necessidade de selecionar materiais é uma prática realizada quase que diariamente pelas empresas que desenvolvem ou aprimoram seus produtos. É estimado que haja mais de 80.000 tipos de materiais no mundo incluindo vários tipos de ligas metálicas e não-metálicas [1].

Com este grande número de materiais disponíveis, necessidades específicas para cada projeto fazem do processo de seleção de materiais um desafio. A seleção do melhor material envolve um grande número de fatores, como os requisitos funcionais do produto, as



propriedades dos materiais que especificam estes requisitos, o custo e o processo de fabricação [2] e [3].

A escolha do material errado frequentemente envolve alto custo e pode levar a falha do produto, logo os projetistas precisam identificar e selecionar o material adequado para cada produto para se ter o menor custo com desempenho específico para cada aplicação.

São encontrados vários métodos para sistematizar a seleção de materiais. Um dos principais métodos encontrados na literatura é o de Ashby.

Ele introduziu cartas de seleção de materiais, que são representadas por gráficos que relacionam duas propriedades específicas dos materiais e cada classe de materiais está agrupada em conjuntos dentro de sua escala, conforme ilustra a Figura 1.

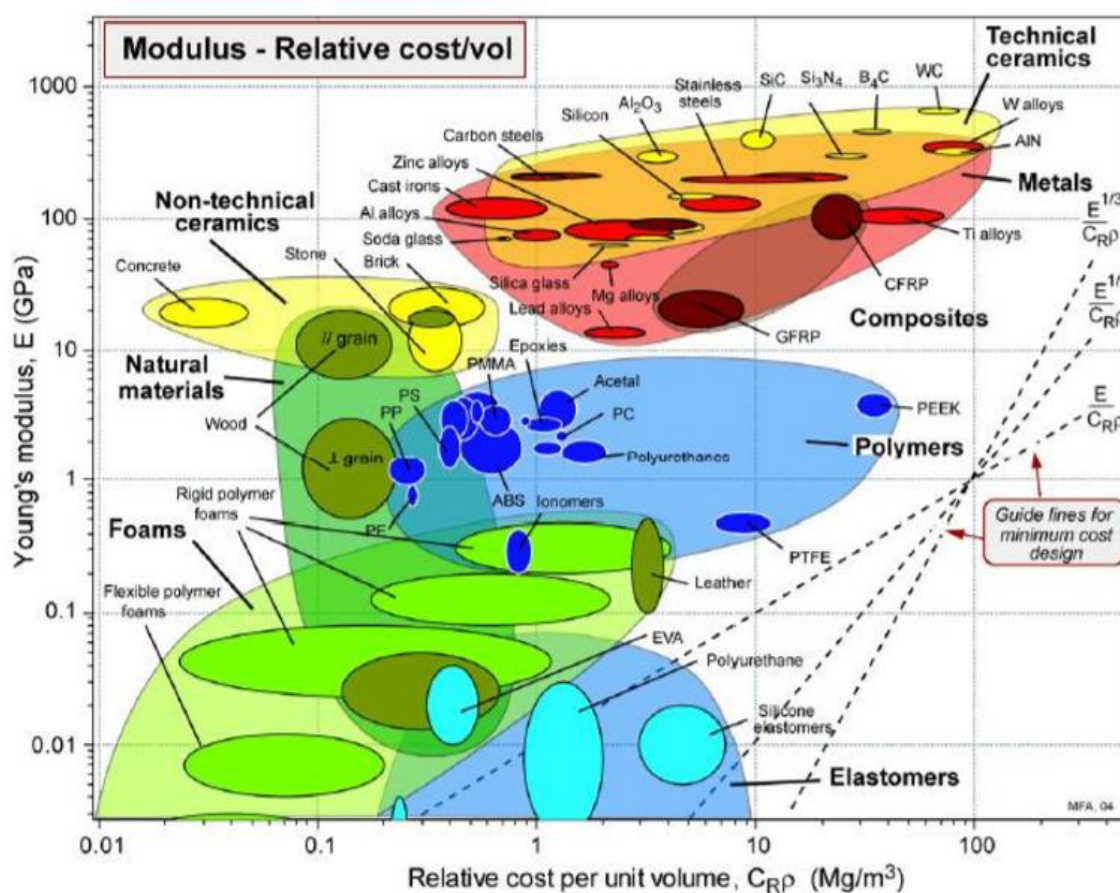


Figura 1 - Exemplo de um Mapa de Propriedades.

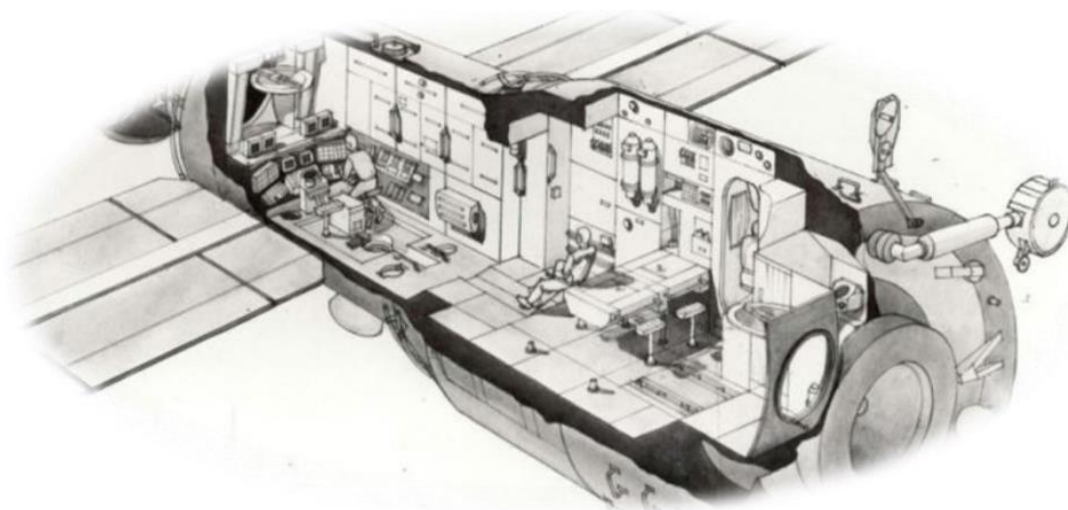
Em essência, o método relaciona às limitações primárias, consideradas aquelas impostas pelo projeto e a partir desta lista de materiais já limitada é aplicada uma limitação secundária,



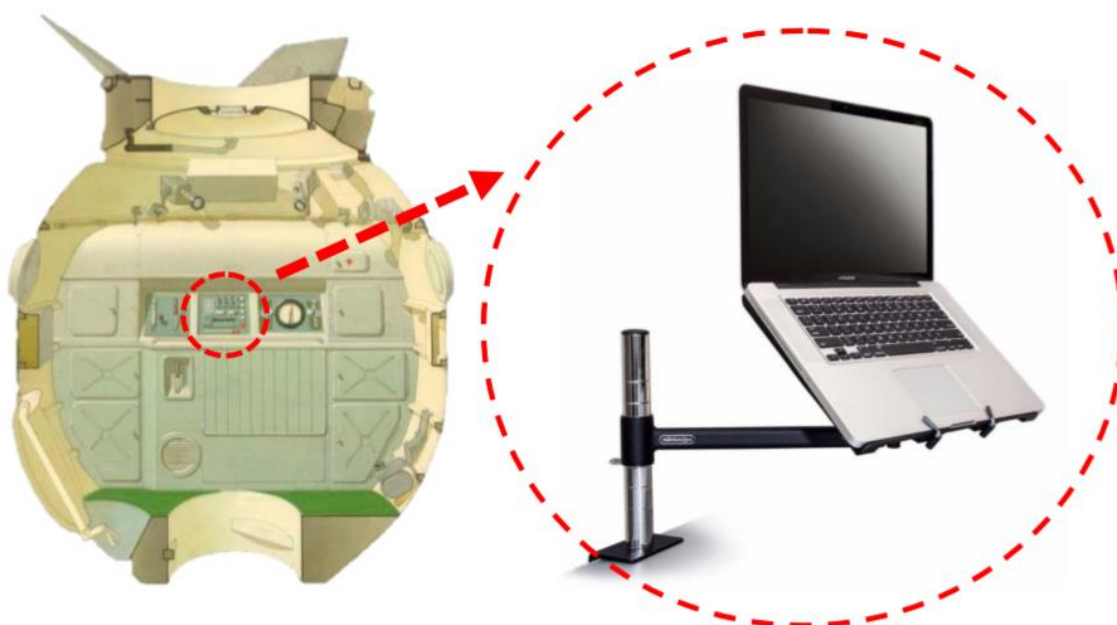
chamada de índice de mérito que é a combinação das propriedades no qual maximiza o desempenho [4].

O problema sugerido para o estudo foi a situação hipotética descrita abaixo:

Numa estação espacial cuja gravidade local é  $7 \text{ m/s}^2$ , será instalado um computador suspenso por um tirante de 2 mm de diâmetro, sendo sua massa igual à 30 kg. Segundo os projetistas a massa específica está entre 2 e 5  $\text{g/cm}^3$ . Nessas condições, o objetivo é determinar apenas um material apropriado para tal aplicação, conforme é representado esquematicamente nas Figuras 2 e 3.



**Figura 2 - Estação Espacial (Modelo do Programa Espacial Soviético)**



(a)

(b)



Figura 3 - (a) Visão da secção e (b) Zoom A

## 2. Metodologia

O trabalho de seleção de materiais envolveu os métodos científicos dedutivos e comparativos. O método de engenharia utilizados é o proposto por Asbhy.

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 – Cálculo do índice de mérito e inclinação da reta

Para o cálculo do índice de mérito, é necessário inicialmente determinar a tensão feita sobre o tirante:

$$F = m \cdot a \rightarrow F = 30\text{kg} \cdot 7\text{m} / \text{s}^2 \rightarrow \boxed{F = 210\text{N}}$$

$$A = \pi \cdot r^2 \rightarrow A = 3,14 \cdot (0,001)^2 \rightarrow \boxed{A = 3,1 \cdot 10^{-6} \text{m}^2}$$

$$\text{logo, se } \sigma = \frac{F}{A} \rightarrow \sigma = \frac{210}{3,1 \cdot 10^{-6}} \rightarrow \sigma = 6,77 \cdot 10^7 \text{Pa} \rightarrow \boxed{\sigma = 67,7 \text{MPa}}$$

O índice de mérito, representa uma fração, tendo no numerador a propriedade que se quer maximizar e no denominador a que se deseja minimizar. Logo, sabendo que o índice de mérito para um tirante tensionado é dado por:

$$\sigma = \frac{\rho}{IM} \rightarrow \boxed{IM = \frac{\rho}{\sigma}} \quad (1)$$

Foi possível calcular o índice de mérito tomando de referência os limites mínimos e máximos, descritos no problema:



## X Workshop em Engenharia e Tecnologia Espaciais

7 a 9 de agosto de 2019

*Limite mínimo* ( $2g / cm^3 = 2000kg / m^3$ )

$$IM_{\min} = \frac{\rho}{\sigma} \rightarrow IM_{\min} = \frac{2000kg / m^3}{67,7MPa} \rightarrow \boxed{IM_{\min} = 29,54}$$

*Limite máximo* ( $5g / cm^3 = 5000kg / m^3$ )

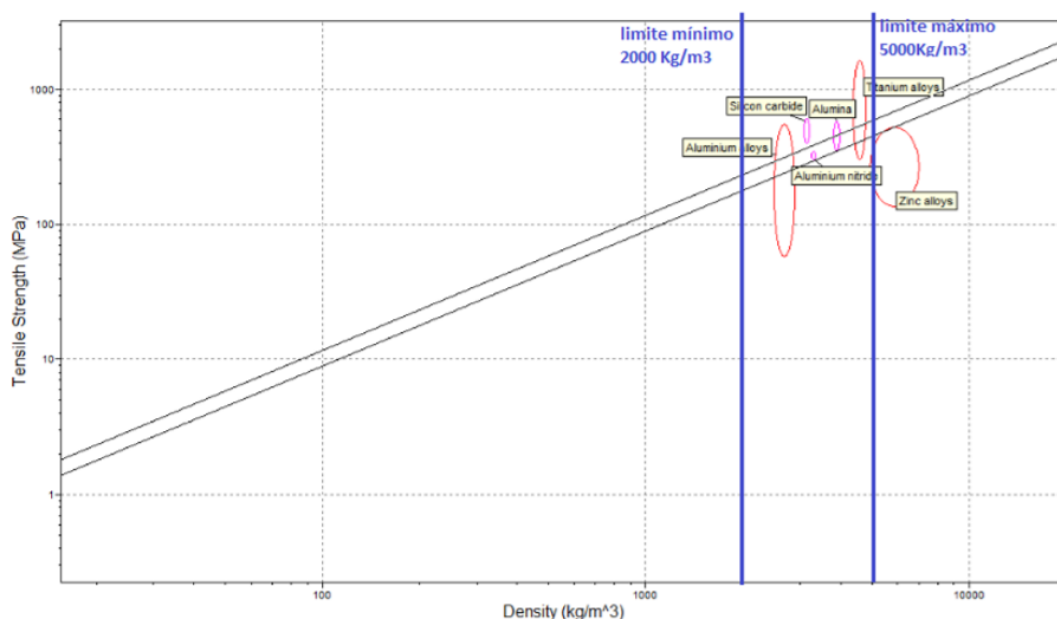
$$IM_{\max} = \frac{\rho}{\sigma} \rightarrow IM_{\max} = \frac{5000kg / m^3}{67,7MPa} \rightarrow \boxed{IM_{\max} = 73,85}$$

Para aplicação do tirante, o mapa de propriedades de interesse é gerado em um espaço limitado pela tensão ( $\sigma$ ) versus a densidade ( $\rho$ ), como demonstrado na Figura 4, em escala log-log com auxílio do Software “CES Edupack, versão 2005”:

Desta forma, para utilização do mapa de propriedades, é preciso aplicar logaritmo em ambos os lados da equação (1). Deste modo tem-se:

$$\sigma = \frac{\rho}{IM} \rightarrow \log(\sigma) = \log(\rho) + \log(IM) \quad (2)$$

Logo, a equação (2) representa uma reta de coeficiente angular igual a 1 que pode ser traçada sobre o mapa, onde para diferentes valores de IM, teremos diferentes retas sobre o mapa. Nesse sentido, considerando no problema em questão um índice de mérito mínimo ( $IM_{\min} = 29,54$ ) e outro máximo ( $IM_{\max} = 73,85$ ), traçamos duas retas no mapa, com as seguintes inclinações:  $b_{\min} = 1,47$  e  $b_{\max} = 1,87$ , conforme ilustra a Figura 5:



**Figura 4 - Mapa de Propriedades – Tensão versus Densidade com os limites impostos pelo projeto.**

Considerando o Mapa de Propriedades, gerado com o auxílio do Software “CES Edupack, versão 2005”, são indicados alguns materiais que seriam aprovados pelo critério de índice de mérito dentro desta região limitada: as ligas de alumínio, nitreto de alumínio, alumina e ligas de titânio, que serão melhor analisadas à seguir.

Analisando o nitreto de alumínio é um material cerâmico de ampla aplicação como semiconductor em dispositivos óptico-eletrônicos devido à alta condutividade térmica pois permite uma boa dissipação de calor. E atualmente tem sido objeto de estudo para aplicações termo-mecânica devido à alta resistência mecânica e excelente estabilidade a temperaturas elevadas, com adição de aditivos, tais como óxido de magnésio, óxido de alumínio e óxido ítrio. Entretanto, para a aplicabilidade como material a ser utilizado no espaço, um dos critérios prioritários é a limitação de carga/massa que comparado a liga de alumínio é consideravelmente maior, o que faz perder a posição nesse quesito. Além de apresentar o custo de elevado, pois o nitreto de alumínio é um material cerâmico que não ocorre na natureza, e é sintetizado por reações em altas temperaturas.

Já a alumina ou óxido de alumínio como também pode ser chamada, destaca se em função da combinação de suas propriedades: dureza alta, resistência mecânica elevada, ótima resistência ao calor e propriedades isolantes. Entretanto, apresentam como desvantagem a sua relativa fragilidade, baixa tenacidade a fratura. E como o material a ser escolhido tem a função de suportar uma carga de 30 Kg no espaço, estará continuamente sob condições de trabalho com carga mecânica e choque térmico, limitando seu uso devido a sua fragilidade. Assim como também, apresenta elevada densidade comparada a outros materiais selecionados, o que faz perder a posição nesse quesito.

Com relação as ligas de titânio, as principais características são: elevadas temperaturas de fusão, sendo um metal refratário, característica indispensável em naves espaciais; alta dureza



a quente, excelentes propriedades mecânicas, alta resistência à corrosão, ótima razão resistência/peso. Além disso, as ligas de titânio apresentam em geral resistência mecânica 400% superior às ligas de alumínio, porém apresenta densidade 50 % superior comparada ao do alumínio, como também sendo mais caras. Perdendo no quesito custo e peso. Enquanto a liga de alumínio apresenta a vantagem de apresentar menor massa comparados com os materiais pré-selecionados devido a significativa diferença de densidade

O alumínio como material puro possui baixa resistência mecânica, assim como ocorrem em outros metais não podendo ser usado em aplicações estruturais. Porém, o alumínio ligado apresenta alta resistência mecânica, resistência a corrosão limitada e a relação resistência versus peso superior à de muitos aços de alta resistência. Além de ser relevante comercialmente para o Brasil, como possuidor da terceira maior reserva mundial de bauxita

#### 4. Conclusão

O Conjunto de métodos utilizados foi plausível com o desafio proposto na disciplina Seleção de Materiais. O resultado aponta que o alumínio é o mais indicado para a fabricação do tirante espacial. Sua leveza aliada à propriedades mecânicas satisfatórias corroboraram para a tomada da decisão.

[1] Chatterjee, P; Athawale, VM; Chakraborty, S. Materials selection using complex proportion assessment and evaluation of mixed data methods. *Materials and Design*, 32, p. 851-860, 2011.

[2] Ljungberg, LY; Edwards, KL. Design, materials selection and marketing of successful products. *Materials and Design*, 24, p. 519-529, 2003.

[3] Deng, Y-M; Edwards, KL. The role of materials identification and selection in engineering design. *Materials and Design*, 28, p. 131-139, 2007.

[4] Brascher, G. C; Scalice, R. K; Becker, D. Metodologia para seleção de materiais baseada no QFD. Disponível em: <[http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/ketlin/materiais/artigo\\_grosso.pdf](http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/ketlin/materiais/artigo_grosso.pdf)>. Acesso em: 21 de janeiro de 2019. em <http://www.mountangoatsoftware.com/blog/>