

Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica

Avaliação técnica do conjunto colimador do espectrógrafo SIFS

Marcio V. de Arruda, Vanessa B. P. Macanhan

LNA/NT/2017-16

Mar/2017

Avaliação técnica do conjunto colimador do espectrógrafo SIFS

Márcio V. de Arruda¹, Vanessa B. P. Macanhan¹

¹*Laboratório Nacional de Astrofísica, marruda@lna.br*

Resumo: O conjunto colimador do espectrógrafo SIFS foi projetado e construído pela empresa Leg Engenharia sob supervisão do LNA. Durante o comissionamento do espectrógrafo SIFS no Chile, a equipe responsável pelo equipamento identificou instabilidades optomecânicas que podem estar relacionadas ao espelho colimador. Esta nota técnica apresenta um estudo de caso para avaliar a estabilidade mecânica do conjunto mediante variações térmicas.

Abstract: *The collimator of the SIFS spectrograph was designed and manufactured by Leg Engenharia under LNA responsibility. During commissioning phase in Chile, the responsible team have identified some optomechanical instabilities such that may be related to collimator mirror. So, this white paper presents a case study to evaluate such mechanical instabilities during thermal variations.*

Palavras-chave/keywords: SIFS; projeto mecânico; colimador / *mechanical design; collimator;*

Sumário

1	Introdução	4
2	Avaliação térmica	5
2.1	Condições de contorno	5
2.1.1	Cálculo ordinário	5
2.1.2	Cálculo por MEF	6
2.2	Resultados	7
2.2.1	Cálculo ordinário	8
2.2.2	Cálculo por MEF	9
3	Avaliação estrutural	10
3.1	Condições de contorno	10
3.2	Resultados	11
4	Sugestão de melhoria	12
5	Outros parâmetros a serem considerados	13
5.1	Atuador de mola	13
5.2	Castanha de apoio do espelho colimador	13
5.3	Espessura da peça LNA-M-SIFS03-A4-401P	14
6	Conclusões	14

Acrônimos e definições

- LNA – Laboratório Nacional de Astrofísica
- SIFS – *SOAR Integral Field Unit Spectrograph*
- SOAR - *Southern Astrophysical Research Telescope*
- MEF – Método de Elementos Finitos

1 Introdução

O espectrógrafo SIFS[1] é um instrumento do telescópio SOAR no Chile. Durante o comissionamento deste instrumento foi identificada uma variação da posição do centroide dos espectros das fibras ópticas em relação ao detector. Após diversos testes, a equipe responsável identificou que tais instabilidades podem estar relacionadas ao conjunto colimador, o conjunto LNA-M-SIFS03-395A, mediante variação térmica. A Figura 1 apresenta o conjunto colimador completo em desenho 3D.

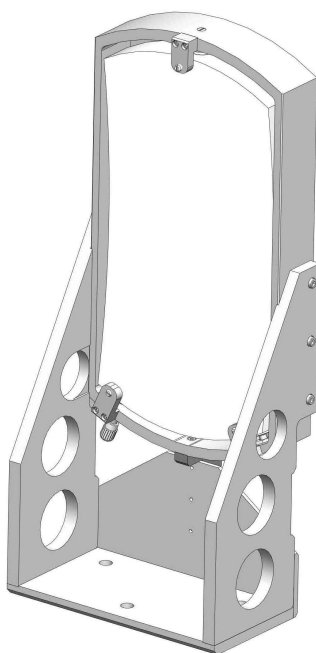


Figura 1: Conjunto colimador

Em um dos testes, a equipe responsável pelo instrumento detectou uma variação máxima do centroide das fibras de 10 pix na direção espacial do espectro em duas horas de observação. Durante este período, a variação de temperatura medida dentro da cúpula foi de aproximadamente 2°C.

Como resultado destas observações, a primeira conclusão sugere deslocamento da óptica por meio de dilatação térmica do conjunto, ao invés de vibração mecânica.

Esta nota técnica trata de uma avaliação das possíveis causas deste deslocamento considerando não apenas o deslocamento térmico, mas também deslocamento estrutural mecânico do conjunto por meio de cálculos e simulações.

2 Avaliação térmica

Avaliar conjuntos, utilizando MEF, considerando diversos materiais e diferentes junções não é trivial. A complexidade da simulação aumenta com o número de componentes e materiais de todas as naturezas. Assim, para avaliar a estabilidade do conjunto do espelho colimador mediante variação de temperatura foram adotados um número mínimo de parâmetros suficientes para se obter resultados confiáveis.

Foi realizado também um cálculo linear na direção da dimensão máxima (vertical e horizontal) do conjunto colimador considerando apenas peças com o mesmo material.

2.1 Condições de contorno

2.1.1 Cálculo ordinário

Da fórmula de dilatação térmica:

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde, $\alpha \rightarrow$ coeficiente de expansão térmica, $L_0 \rightarrow$ comprimento inicial em metros, $\Delta T \rightarrow$ variação de temperatura

As medidas do colimador na horizontal e na vertical são respectivamente 149mm e 527,95mm, segundo desenho em 3D obtido por software SolidWorks¹.

A condição de contorno térmica é a variação de temperatura observada $\sim 2^\circ C$.

Para o coeficiente de expansão térmica, $[T^{-1}]$, considera-se alguns casos independentes², utilizando valores de catálogo para as seguintes ligas de alumínio:

- AL 7075-T6 ($\alpha = 2,4E - 005 \rightarrow$ solidworks 2017; $\alpha = 2,34E - 005 \rightarrow$ matweb[2] para temperatura de $20.0^\circ C$ à $100.0^\circ C$) – Por ser um alumínio com resistência mecânica maior e possuir estabilidade dimensional é comum sua utilização nos projetos opto mecânicos.
- AL 6061-T6 ($\alpha = 2,4E - 005 \rightarrow$ solidworks 2017; $\alpha = 2,36E - 005 \rightarrow$ matweb[2] para temperatura de $20.0^\circ C$ à $100.0^\circ C$) – Liga comumente utilizada em projetos opto-mecânicos.

¹O ideal é ter a metrologia do conjunto para se ter certeza do que foi fabricado.

²Não é possível afirmar qual foi o material utilizado na fabricação do conjunto pois não há documentos de inspeção final.

- AL 5052-O ($\alpha = 2,38E - 005 \rightarrow$ solidworks 2017; $\alpha = 2,38E - 005 \rightarrow$ matweb[2] para temperatura de $20.0^{\circ}C$ à $100.0^{\circ}C$) – Liga de menor custo comumente utilizada na industria ordinária
- AL 2024 alloy ($\alpha = 2,30E - 005 \rightarrow$ solidworks 2017; $\alpha = 2,29E - 005 \rightarrow$ matweb[2] para temperatura de $20.0^{\circ}C$ à $100.0^{\circ}C$) – Liga de menor custo comumente utilizada na industria ordinária

2.1.2 Cálculo por MEF

Para realizar esta simulação foi considerada apenas o conjunto formado pelas peças:

- LNA-M-SIFS03-A3-397P
- LNA-M-SIFS03-A3-398P
- LNA-M-SIFS03-A3-399P
- LNA-M-SIFS03-A3-400P
- LNA-M-SIFS03-A3-401P
- LNA-M-SIFS03-A3-402P

O conjunto pode ser visualizado na Figura 2.

O conjunto colimador é fixo na bancada óptica por três parafusos M6. Há um ressalto de 1,5mm na base de fixação, o qual não há informações técnicas de sua finalidade. Desta forma, a área de contato entre a bancada e o conjunto colimador é exatamente a área deste rebaixo, a qual é a única restrição fixa adotada nesta simulação. O rebaixo pode ser visto na imagem da Figura 3.

A condição de contorno térmica foi a variação de dois graus considerando uma temperatura de referência de $20^{\circ}C$.

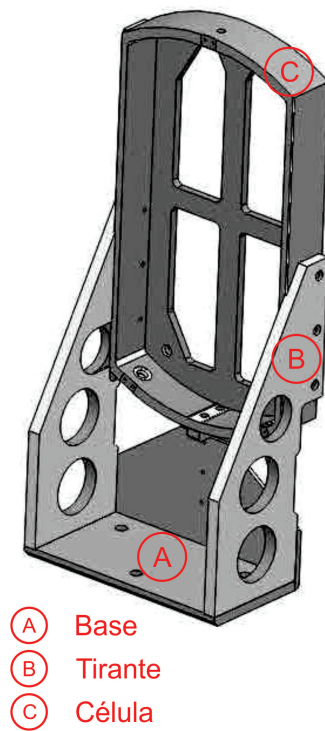


Figura 2: Conjunto colimador considerado na simulação térmica.

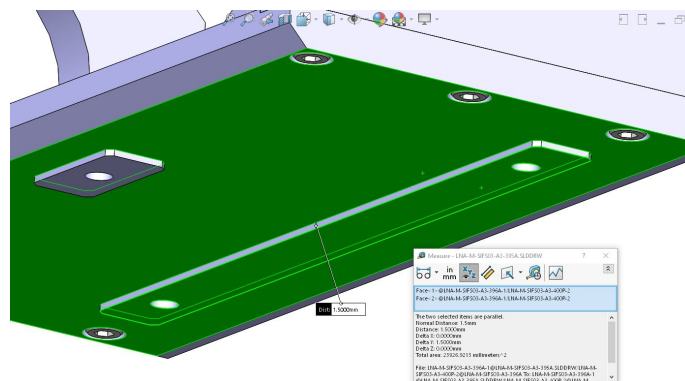


Figura 3: Ressaltos na base do conjunto colimador.

2.2 Resultados

Para facilitar o entendimento dos resultados as subseções seguintes apresentam separadamente os resultados por cálculo ordinário e por MEF.

2.2.1 Cálculo ordinário

Seguindo as considerações da seção anterior, as Tabelas 1 e 2 listam as variações dimensionais para ambas as direções vertical e horizontal separadamente.

Tabela 1: Dilatação horizontal para valores de coeficiente extraídos do solidworks

MATERIAL	ΔL DIREÇÃO HORIZONTAL [m]
7075-T6 (Solidworks)	7,15E-006
7075-T6 (matweb)	6,97E-006
6061-T6 (Solidworks)	7,15E-006
6061-T6 (matweb)	7,03E-006
5052-O (Solidworks)	7,09E-006
5052-O (matweb)	7,09E-006
2024 alloy (Solidworks)	6,85E-006
2024 alloy (matweb)	6,82E-006

Tabela 2: Dilatação vertical para valores de coeficiente extraídos do solidworks

MATERIAL	ΔL DIREÇÃO VERTICAL [m]
7075-T6 (Solidworks)	2,53E-005
7075-T6 (matweb)	2,47E-005
6061-T6 (Solidworks)	2,53E-005
6061-T6 (matweb)	2,49E-005
5052-O (Solidworks)	2,51E-005
5052-O (matweb)	2,51E-005
2024 alloy (Solidworks)	2,43E-005
2024 alloy (matweb)	2,42E-005

2.2.2 Cálculo por MEF

Apresenta-se abaixo apenas as figuras contendo os gráficos de deslocamento da simulação por MEF. As Figuras 4, 5, 6 e 7 são para os materiais 7075-T6, 6061-T6, 5052-O e 2024 alloy respectivamente.

Os valores máximos obtidos por MEF estão na tabela 3.

Tabela 3: Deslocamentos máximos obtidos por MEF

MATERIAL	DESLOC. MÁXIMO [μm]
7075-T6	1.217E+001
6061-T6	1.217E+001
5052-O	1.207E+001
2024 alloy	1.167E+001

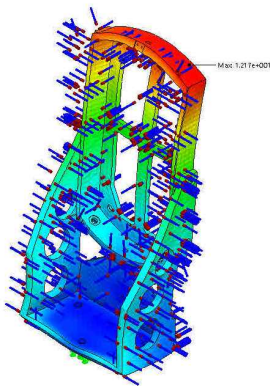


Figura 4: Resultado da simulação térmica para AL 7075-T6

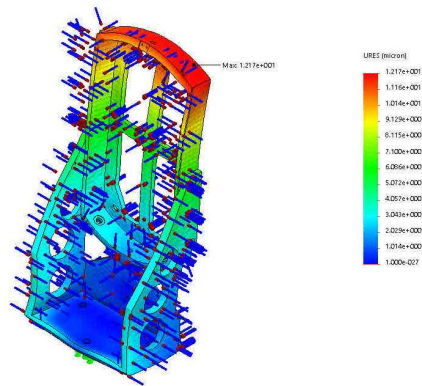


Figura 5: Resultado da simulação térmica para AL 6061-T6

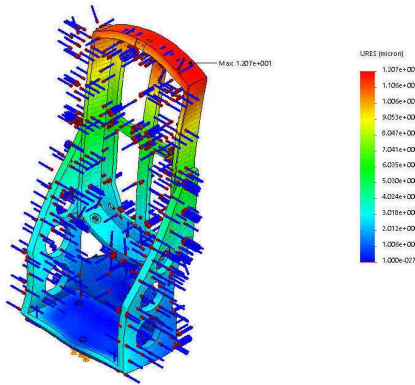


Figura 6: Resultado da simulação térmica para AL 5052-O

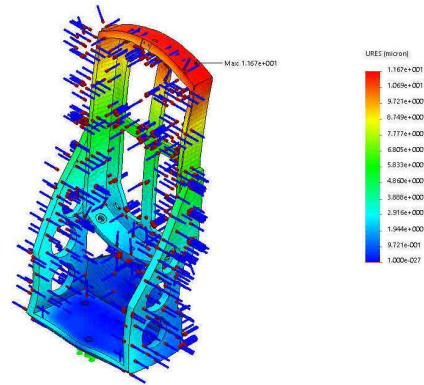


Figura 7: Resultado da simulação térmica para AL 2024 alloy

3 Avaliação estrutural

A simulação estrutural de conjunto por MEF também segue as dificuldades da simulação térmica devido ao grande número de parâmetros envolvidos. E novamente, neste caso, a simulação foi feita para os elementos estruturais, desconsiderando molas, atuadores, elementos ópticos, etc.

3.1 Condições de contorno

O objetivo desta avaliação estrutural foi verificar quais foram os deslocamentos sofridos pelo conjunto colimador no momento da instalação da óptica. É importante lembrar que não foi considerado nesta simulação nenhum torque no conjunto por influência do peso próprio da óptica colimadora. Apenas considerou-se que a óptica está apoiada em seus pontos de apoio inferiores e que a mesma está apoiada pelo seu centro (sem nenhum torque). A Figura 8 apresenta os pontos de carregamento, localizados na base da célula, e os pontos de fixação. O carregamento é o peso distribuído nos dois pontos em rosa.

O peso do espelho colimador extraído por cálculos do volume obtido em desenho 3D, utilizando a densidade do vidro Zerodur©, é 3,355 kg³.

³Este valor é uma estimativa e não representa a realidade. Metrologia da óptica colimadora pode comprovar estes valores.

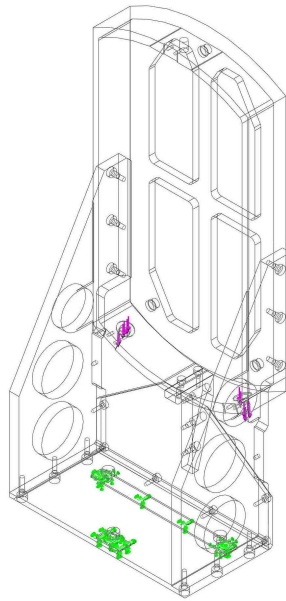


Figura 8: Parâmetros da simulação estrutural

3.2 Resultados

Os deslocamentos máximos para os alumínios 7075-T6, 6061-T6, 5052 e 2024 obtidos por simulação estão na Tabela 4.

Tabela 4: Deslocamentos máximos obtidos por MEF

MATERIAL	DESLOC. MÁXIMO [μm]
7075-T6	6.019
6061-T6	6.281
5052-O	6.191
2024 alloy	5.986

Os gráficos apresentados nas Figuras 9, 10, 11 e 12 representam o deslocamento do conjunto.

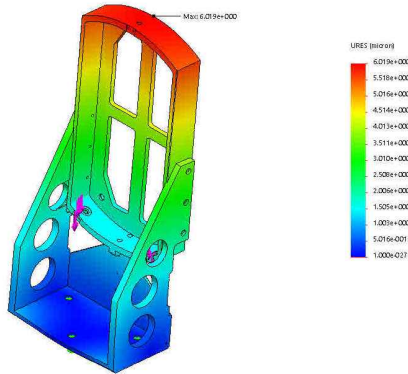


Figura 9: Resultado da simulação estrutural para AL 7075-T6

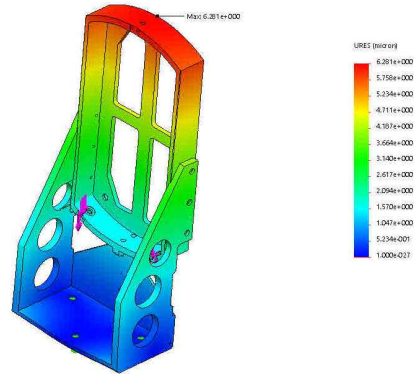


Figura 10: Resultado da simulação estrutural para AL 6061-T6

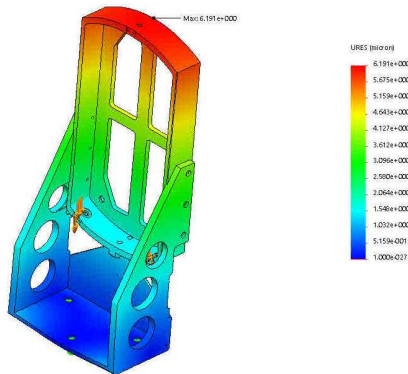


Figura 11: Resultado da simulação estrutural para AL 5052-O

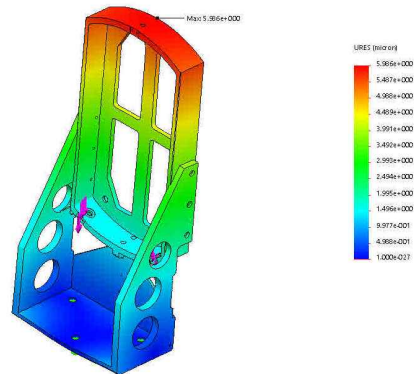


Figura 12: Resultado da simulação estrutural para AL 2024 alloy

4 Sugestão de melhoria

Observando os resultados das seções anteriores, foi fácil perceber que o deslocamento maior está no topo da célula. Assim, uma modificação simples que pode diminuir os valores de deslocamento por expansão térmica é elevar o ponto de fixação da célula e apoiar melhor a base com a eliminação dos ressalto (ver ressalto na Figura 3).

Considerando as mesmas restrições e carregamentos utilizados na seção 2.1.2 o valor máximo de deslocamento é de $3.182\mu\text{m}$, para AL 6061-T6. A direção da

retração é para baixo no sentido da bancada, não havendo retração para frente e para traz. A Figura 13 apresenta o gráfico de deslocamento do projeto sugerido.

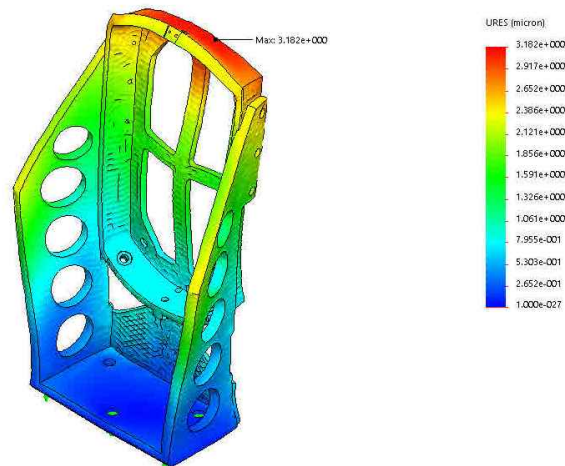


Figura 13: Resultado da simulação térmica do projeto sugerido

5 Outros parâmetros a serem considerados

Seguem abaixo outros parâmetros que devem ser considerados para melhoria do projeto.

5.1 Atuador de mola

O atuador de mola que apoia a lente colimadora pode estar contribuindo com a instabilidade do conjunto colimador. Sua principal função é não deixar o sistema rígido demais evitando quebra da lente por dilatação térmica. Assim, deve-se verificar se a força de mola é suficiente para estabilizar o espelho em posição.

5.2 Castanha de apoio do espelho colimador

A castanha que apoia o espelho por meio do atuador de mola foi executado sem um chanfro em sua base como pode ser visto na Figura 14.

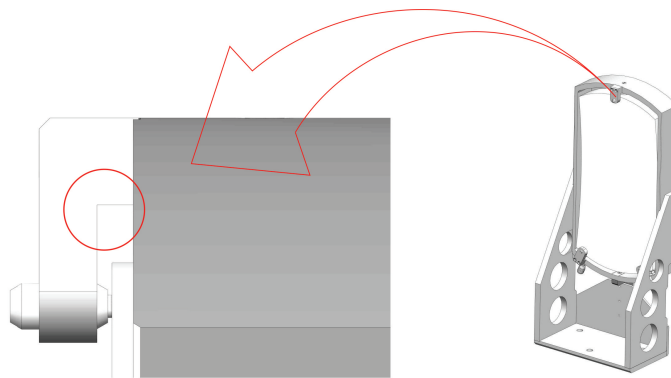


Figura 14: Ponto fragilizado mecanicamente.

A fabricação de tal quina/canto sem chanfro ocasiona uma concentração de tensões indesejadas que podem levar a instabilidade mecânica diminuindo a resistência do material e aumentando seu deslocamento.

Assim, é fortemente recomendado refazer esta peça com chanfro para aumentar a sua estabilidade mecânica.

5.3 Espessura da peça LNA-M-SIFS03-A4-401P

Esta peça possui espessura menor que regularmente utilizada em sistemas optomecânicos. Como não há razões para limitar o peso do conjunto, é recomendado substituir esta peça por outra de espessura maior. Esta substituição proporcionará maior estabilidade mecânica devido ao aumento da massa.

6 Conclusões

Seguindo a hipótese levantada inicialmente, o deslocamento sofrido por variação de temperatura é alto no topo do conjunto suporte e célula. Porém, não se pode afirmar sua interferência direta ou indireta no espelho colimador. Os altos valores de dilatação no cálculo manual ($25\mu m$) não são confirmados por MEF ($12\mu m$). No cálculo manual sugere-se sempre que seria o valor limite, o real será sempre menor. Para ter-se idéia de outros materiais, substituindo o material do conjunto por aço inoxidável 316L obtém-se $9.5\mu m$ e substituindo por titânio de grau 5 Ti6Al4V obtém-se $5.31\mu m$. Uma das razões dos altos valores é a dimensão relativamente grande do conjunto.

Este conjunto mecânico foi desenvolvido por uma empresa externa ao LNA. Suas características de projeto e metrologia após a fabricação não são de domínio da instituição. Assim, os autores realizaram uma simulação estrutural, como complemento da avaliação térmica. Os resultados mostraram deslocamentos razoáveis $\sim 6\mu m$, considerando apenas o peso do espelho colimador $\sim 3,600Kg$.

Para maiores conclusões sobre estas variações, tanto térmicas quanto estrutural, é necessário se conhecer as tolerâncias do projeto óptico.

Sabe-se que há limitações dimensionais no espaço ocupado pelo conjunto colimador da bancada, tal forma que alterações radicais do projeto original podem comprometer outras partes do espectrógrafo. Assim, as seções 4 e 5 apresentam de maneira sucinta sugestões que auxiliarão na estabilidade do conjunto colimador sem que necessitem alterações no espectrógrafo e na cobertura.

Referências

- [1] SIFS - SOAR Integral Field Unit Spectrograph, <http://www.lna.br/~sifs/index.html>, acessado em: fevereiro de 2017.
- [2] MatWeb - Material Property Data, <http://www.matweb.com>, acessado em: fevereiro de 2017.