

Notas Técnicas do Laboratório Nacional de Astrofísica

Desenvolvimento do novo suporte do criostato do espectrógrafo STELES

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

LNA/NT/2016-13

Junho/2016

Desenvolvimento do novo suporte do criostato do espectrógrafo STELES

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

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

Resumo: O espectrógrafo STELES é um equipamento desenvolvido e fabricado pelo Laboratório Nacional de Astrofísica para o telescópio SOAR no Chile. Este desenvolvimento apresenta uma viabilização conceitual de um projeto inovador que contempla todos os graus de liberdade necessários para o correto alinhamento do criostato do espectrógrafo STELES.

Abstract: The STELES spectrograph is an instrument designed and manufactured by the Laboratório Nacional de Astrofísica to SOAR telescope in Chile. This development notes presents a conceptual design review of an innovative support which contemplates all degrees of freedom needed to align the STELES cryostat.

Palavras-chave/keywords: Projeto mecânico, criostato, STELES / Mechanical design, cryostat, STELES

Sumário

1	Registro de alterações	4
2	Referências	6
3	Definições	6
4	Introdução	6
5	Requisitos de projeto	7
5.1	Requisitos Mecânicos	7
5.2	Requisitos Ópticos	8
6	O projeto	10
6.1	Da organização	10
6.2	Desenvolvimento volumétrico	10
6.3	Finalização de desenvolvimento conceitual	11
6.4	Massas	12
7	Verificação de projeto	14
7.1	Dos requisitos mecânicos	14
7.1.1	REQ-STE15-101	14
7.1.2	REQ-STE15-102	16
7.1.3	REQ-STE15-103	16
7.1.4	REQ-STE15-104 e 105	16
7.1.5	REQ-STE15-106 e 107	17
7.2	Dos requisitos ópticos	20
7.2.1	REQ-STE15-201 e 202	20
7.2.2	REQ-STE15-203	20
7.2.3	REQ-STE15-204	21
7.2.4	REQ-STE15-205	23
7.2.5	REQ-STE15-206	24
8	Vantagens e desvantagens em relação ao projeto executado	24
8.1	Vantagens	24
8.2	Desvantagens	25
A	Notas de Reunião do dia 10 de Abril de 2015	26
B	Notas de Reunião do dia 23 de Abril de 2015	26

1 Registro de alterações

Ver.	Descrição
0.0	Primeira versão. Desenvolvimento do suporte iniciado em Novembro de 2014.
0.1	<ul style="list-style-type: none"> • Adicionado nota no requisito REQ-STE15-101 • Atualização da seção 7.1.1 considerando a nota adicionada no requisito REQ-STE15-101. De acordo com as notas de reunião do dia 10 de Abril de 2015 (ver Anexo A), o material especificado (para o braço de sustentação “camera criostato”) por consenso foi AISI 304, não havendo necessidade de manter as simulações para os outros materiais. • Acrescentado figura 10 na seção 7.1.4.
0.2	<ul style="list-style-type: none"> • Atualização da seção 7.2.2. Adicionado ajuste linear na direção do eixo óptico no subconjunto da camera do canal azul. Atualização gerada segundo nota de reunião do dia 23 de Abril de 2015 (Ver Anexo B). • Acrescentado figura 14. • Atualização da seção 7.1.5 com inclusão dos pontos de metrologia.
0.3	<p>Todas as correções abaixo seguem recomendações do avaliador de nota técnica do LNA Décio Ferreira / CEDP. Documento referência: AVALIAÇÃO DE NOTA TÉCNICA LNA-NT-2016-13 - Resposta.pdf. Documento de 21 de Junho de 2016.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reeditado o corpo da seção 5 • Corrigido erro de digitação REQ-STE15-101, 105 seção 5.1 • Corrigido erro de digitação REQ-STE15-201 seção 5.2 • Corrigido erro de digitação corpo descrição da figura 1 seção 6.1 • Corrigido a referência figura 2, antes figura 6.2 • Corrigido erros de digitação da palavra criostato. • Corrigido erro de digitação da seção 6.3 • Referenciado a figura 4 na seção 6.3 • Corrigido erro de digitação seção 6.4 • Reeditado a frase: “Logo, o garfo de sustentação...” na seção 7.1.1. • Corrigido erro de digitação da seção 7.2.2 • Corrigido erro de digitação da seção 7.2.3 • Corrigido erro de digitação da figura 18 <p>Segue na próxima página</p>

Ver.	Descrição
	<p>A atualização descrita abaixo segue uma recomendação do avaliador Clemens em nota de 27 de Junho de 2016.</p> <ul style="list-style-type: none"><li data-bbox="347 409 925 443">• Exclusão da seção propósito do documento<li data-bbox="347 465 794 499">• Inclusão de referência na seção 2<li data-bbox="347 521 770 555">• Inclusão da seção 4 Introdução<li data-bbox="347 577 1185 611">• Inclusão da seção 8 Vantagens em relação ao projeto executado

2 Referências

- Documento de requisitos: Redesign of Camera-Dewar Support – version 2.1
- Global-Coordinates-Steles-v0.4.pdf¹
- Pontos de metrologia do novo suporte do criostato – Versão 0.0²
- Ata de reunião: Reprojetado suporte câmera-dewar de 31 de julho de 2013

3 Definições

Suporte da camera Responsável pela movimentação do conjunto da camera

Suporte do criostato Responsável pela movimentação do conjunto do criostato

Suporte “camera criostato” Responsável pela movimentação de ambos os conjuntos camera e criostato juntos

4 Introdução

Inicialmente no projeto do Espectrógrafo STELES foram utilizados dois criostatos de menor capacidade e todo desenvolvimento conceitual do suporte seguiu esta primeira opção. Em reuniões posteriores aos primeiros desenvolvimentos optou-se por utilizar criostatos de maior capacidade. Como estes novos criostatos possuem diâmetros da ordem 330mm , limitou-se a região volumétrica para o desenvolvimento dos transladores lineares na base destes criostatos, reduzindo assim a possibilidade de robustez do suporte de maneira geral. Os projetos optomecânicos são extremamente sensíveis a variações das condições ambientais e sua estabilidade ligada a robustez do projeto.

O projeto executado para o suporte do criostato do STELES mostrou-se eficiente em sua proposta, porém algumas proposições sugeridas pelos responsáveis pelos primeiros alinhamentos, Bernard Delabre e Bernard Buzzoni³ deveriam ter sido consideradas no projeto. No projeto executado, a camera e o criostato estão em suportes próprios e cada um possui seus graus de liberdade segundo os requisitos de projeto. Uma das sugestões dos “Bernard” era que a camera e o criostato compartilhassem o mesmo suporte (mestre), e obviamente, cada um deveria possuir seu próprio suporte (com seus respectivos graus de liberdade) atachados a este suporte mestre. Assim, decidiu-se por projetar uma nova proposta de suporte, considerando os subconjuntos camera e criostatos como um único suporte seguindo os graus de liberdade definidos em reunião de 31 de julho de 2013.

Este documento apresentará na a partir da próxima seção os requisitos de projeto, as considerações de desenvolvimento, a checagem e validação do projeto segundo os requisitos propostos e por fim as vantagens em relação ao projeto executado.

¹Enviado por Clemens em 10 de Fevereiro de 2015.

²Enviado por Flávio Ribeiro em 30 de abril de 2015.

³Ver nota de reunião - Reprojetado suporte câmera-dewar de 31 de Julho de 2013.

5 Requisitos de projeto

Os requisitos para desenvolvimento do novo suporte estão descritos no documento “Redesign of Camera-Dewar Support – version 2.1” (sem estrutura formalizada). Para melhor organização documental, esta seção discrimina os requisitos em subseções correlatas e numerados para referência. Assim os requisitos mecânicos estão separados de requisitos ópticos. Os requisitos mecânicos são entendidos como rigidez, estabilidade, resistência a flexão, peso, etc, e os requisitos ópticos são todos aqueles que definem como devem ser alinhados os sistemas ópticos, a saber, os graus de liberdade de alinhamento e também tolerâncias envolvidas nos ajustes.

Quanto aos métodos de validação aplicados, eles podem ser: Análise de projeto, Inspeção de projeto e Teste de projeto.

- Análise de projeto: O requisito é validado se alguma análise de resultados ou dados teóricos for aprovada.
- Inspeção de projeto: O requisito é validado apenas por verificação do projeto sem necessidade de resultados de análise.
- Teste de projeto: O requisito é validado por comprovação de testes, quer seja por prototipagem ou produto final.

5.1 Requisitos Mecânicos

REQ-STE15-101: O suporte “camera criostato” deve ser capaz de suportar um peso máximo de 22,7kg (50lb) + peso do suporte da camera, sendo 14,94kg total para a camera azul⁴ e 11,16kg total para a camera vermelha⁵.

Análise Racional: O suporte da camera é um subconjunto que deve ser alinhado juntamente com o criostato logo deve ser parte integrante do suporte do criostato.
--

Método de validação: Análise de projeto.

Nota: Analisar o criostato cheio e vazio. Para cheio considerar 23kg e para vazio considerar 19,8kg
--

REQ-STE15-102: O controlador do CCD e a fonte devem ser fixados na bancada do espectrógrafo.

Análise Racional: O controlador do CCD (11,4kg) e a fonte (4,8kg) são muito pesados para ser agregado à carcaça do criostato. Inicialmente isto era considerado para facilitar processos de manutenção.
--

Método de validação: Inspeção de projeto.
--

REQ-STE15-103: O criostato deve ser facilmente desfixado do suporte para motivos de manutenção.

Análise Racional:

Método de validação: Inspeção de projeto.
--

⁴Somente suporte antigo 9,85kg. Somente camera 5,08kg

⁵Somente suporte antigo 6,68kg. Somente camera 4,48kg

REQ-STE15-104: Os atuadores devem ser posicionados em locais de fácil acesso ou na impossibilidade elaborar ferramentas para facilitar o ajuste.

Análise Racional:
Método de validação: Inspeção de projeto.

REQ-STE15-105: Todo sistema ou subsistema que possui algum tipo de ajuste deve necessariamente possuir travas para que estes não fiquem livres após ajustagem.

Análise Racional:
Método de validação: Inspeção de projeto.

REQ-STE15-106: Pontos para metrologia.

Análise Racional: O conjunto “camera criostato” e os subconjuntos camera e criostato devem necessariamente incorporar pontos para metrologia utilizando o braço 3d
Método de validação: Inspeção de projeto.

REQ-STE15-107: Pontos para içamento.

Análise Racional: O conjunto “camera criostato” e os subconjuntos camera e criostato devem incorporar pontos para içamento.
Método de validação: Inspeção de projeto.

5.2 Requisitos Ópticos

REQ-STE15-201: O suporte do criostato deve envolver a camera.

Análise Racional: O primeiro projeto desenvolvido para o criostato não considerava a camera integrada ao suporte. Após os primeiros testes de alinhamento foi identificado a necessidade de incorporar o sistema.
Método de validação: Inspeção de projeto.

REQ-STE15-202: Cada subsistema do conjunto “camera” e “criostato” deve possuir seu próprio sistema de alinhamento seguindo os requisitos de ajustes.

Análise Racional:
Método de validação: Inspeção do projeto

REQ-STE15-203: O subconjunto camera deve possuir todos os ajustes lineares $\pm 3\text{mm}$ a partir da posição padrão determinada pelo projeto óptico. As precisões de movimento devem ser de $50\mu\text{m}$ a exceção do foco⁶ que deve ser de $25\mu\text{m}$.

⁶Direção do eixo óptico

Análise Racional: Este valor é determinado pelo plano de alinhamento óptico.

Método de validação: Análise do projeto
--

REQ-STE15-204: O subconjunto criostato deve possuir todos os ajustes angulares $\pm 2^\circ$ a partir da posição padrão determinada pelo projeto óptico. As precisões de movimento devem ser de $2'$. O pivô de rotação deve ser localizado no centro da face do CCD, invés de utilizar a janela óptica.

Análise Racional: Este valor é determinado pelo plano de alinhamento óptico.

Método de validação: Análise e Inspeção do projeto

REQ-STE15-205: O conjunto final “Camera Criostato” deve possuir um ajuste linear na direção perpendicular ao eixo óptico e paralelo ao plano da bancada. Este ajuste deve ser de $\pm 10\text{mm}$ a partir da posição padrão determinada pelo projeto óptico com precisão de $50\mu\text{m}$.

Análise Racional: Este valor é determinado pelo plano de alinhamento óptico.

Método de validação: Análise e Inspeção do projeto

REQ-STE15-206: O conjunto final “Camera Criostato” deve possuir ajustes angulares de 6° com precisão de $2'$ e pivô localizado no centro da VPH. O ajuste angular na direção do eixo óptico não é necessário.

Análise Racional: Este valor é determinado pelo plano de alinhamento óptico.

Método de validação: Análise e Inspeção do projeto

6 O projeto

6.1 Da organização

O desenvolvimento do novo suporte partiu da elaboração de uma bancada considerando as coordenadas globais definidas no documento Global-Coordinates-Steles-v0.4.pdf. Veja a seção 2. Esta bancada possui os pontos necessários para a locação de cada subconjunto do entorno da posição do criostato, a saber a rede ECHELE, a rede VPH e também o fold mirror.

Por conveniência, o desenvolvimento começou pelo canal vermelho para depois replicar o conceito para o canal azul.

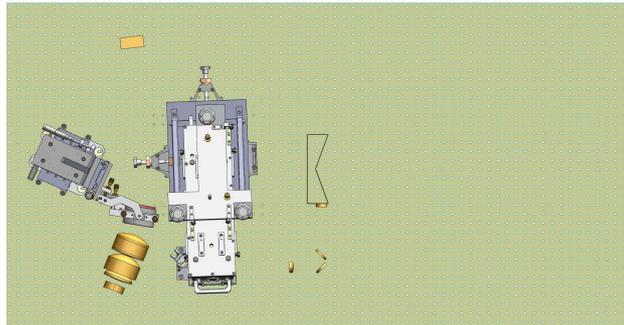


Figura 1: Figura contendo o ponto inicial do desenvolvimento com a óptica, bancada e alguns subconjuntos devidamente posicionados segundo coordenadas globais para o canal vermelho.

6.2 Desenvolvimento volumétrico

Seguindo a metodologia de elaboração volumétrica para identificação do espaço disponível para o novo suporte chega-se a um conceito inicial devidamente posicionado. Este modelo tridimensional é um forte candidato a versão final de desenvolvimento se não houver nenhuma interferência grave que o inviabilize. Note que neste processo é importante identificar, ainda em fase volumétrica, como serão os ajustes seguindo os requisitos de projeto. Assim, o projeto volumétrico resultou nos ajustes angulares do CCD e também nos ajustes lineares da camera perfeitamente alocados, como pode ser visto na figura 2.

O canal azul não teve desenvolvimento volumétrico por se tratar de replicação do modelo volumétrico utilizado no canal vermelho. O canal vermelho possuía limitações espaciais mais críticas que o canal azul.

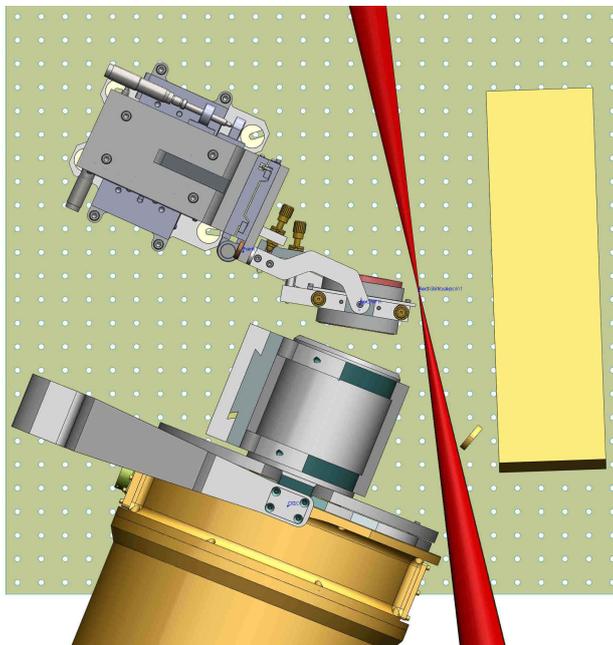
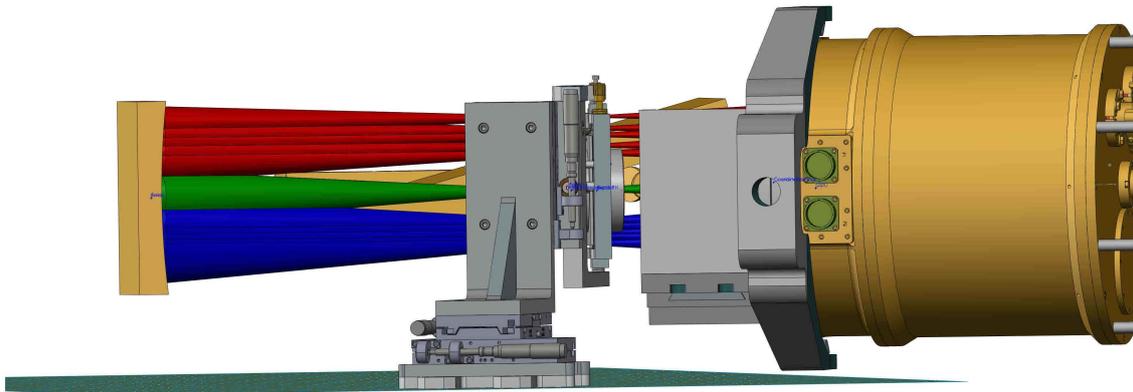


Figura 2: Imagens contendo o projeto volumétrico com as prévias dos ajustes angulares e lineares dos sistemas camera e criostato independentes. Note que, não há ligação entre os dois subconjuntos.

Durante esta fase todos os ensaios, utilizando método de elementos finitos, para o garfo de sustentação do principal subconjunto foram considerados e avaliados. Estes resultados serão apresentados na seção futura.

6.3 Finalização de desenvolvimento conceitual

No desenvolvimento volumétrico identificou-se que o espaço disponível para efetivação de todos os ajustes e apoio do suporte “camera criostato” está localizado na parte esquerda ao conjunto, forçando o projetista a utilizar métodos não triviais, uma vez que o centro de gravidade é deslocado do ponto de interesse dificultando consideravelmente o projeto. Isto interfere na estabilidade óptica pois todo conjunto ficará literalmente “pendurado” ao suporte. O projeto

do suporte para o canal vermelho pode ser visto na figura 3.

O projeto final considerou apenas materiais de fácil aquisição no país possibilitando a execução do produto nas dependências do Laboratório Nacional de Astrofísica sem maiores dificuldades. Apenas uma peça que faz a ligação da camera e o criostato ao suporte “camera criostato” haverá necessidade de retífica, não sendo possível a fabricação nas dependências da instituição.

O suporte do canal azul ficou um pouco diferente do suporte para o canal vermelho, sendo que as adaptações ao projeto foram mínimas, ver figura 4. Dentre as adaptações estão:

- Adaptar a base da camera azul devido a necessidade da compensação térmica
- Adaptar dimensionalmente a base do suporte “camera criostato”
- Adaptar dimensionalmente dois movimentos do suporte da camera, o terceiro movimento é dado pelo próprio sistema cujo compensador térmico está instalado
- Eliminar um atuador que faz parte do compensador térmico
- Redimensionar furos de fixação da base do suporte “camera criostato”
- Os elementos de fixação dos movimentos também tiveram que ser projetados especificamente
- Redimensionar o braço de fixação “L” que liga o garfo de sustentação do criostato ao suporte “camera criostato”

Dimensionalmente, há diferenças de um suporte para o outro.

6.4 Massas

Relação das massas aproximadas calculados a partir de projeto. Não é possível afirmar qual é a imprecisão, mas pode-se considerar em torno de 10%.

Item	Peso <i>kg</i>
LNA-STE15-3000A	28,927
LNA-STE15-3200A	29,130

Em princípio, o lado azul deveria resultar em massa maior. É sabido que existem peças com alívio de material neste canal, motivo este que pode ter promovido esta diferença.

O alívio de material considerado no canal azul é devido a dimensão volumétrica das peças, permitindo assim diminuir a massa sem comprometimento da estrutura.

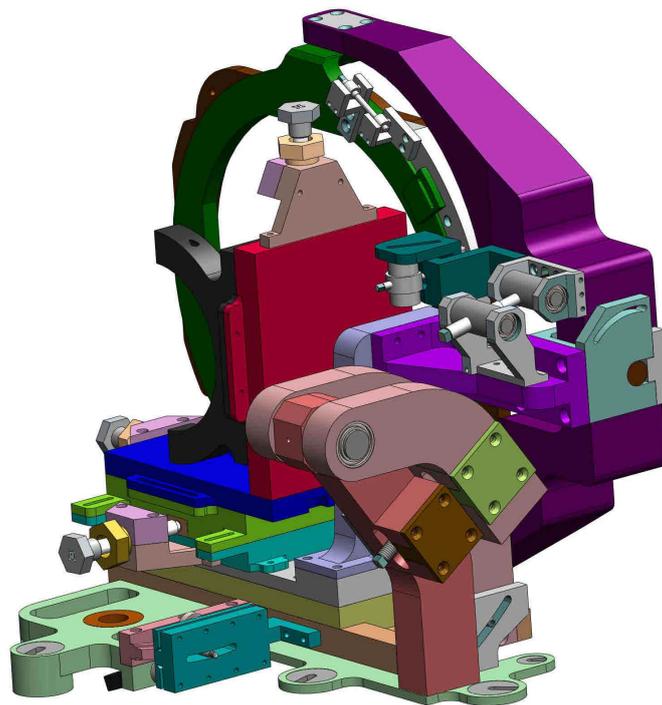


Figura 3: Vista isométrica do suporte “camera criostato” canal vermelho finalizado sem elementos de fixação (parafusos) e também sem o criostato fixado.

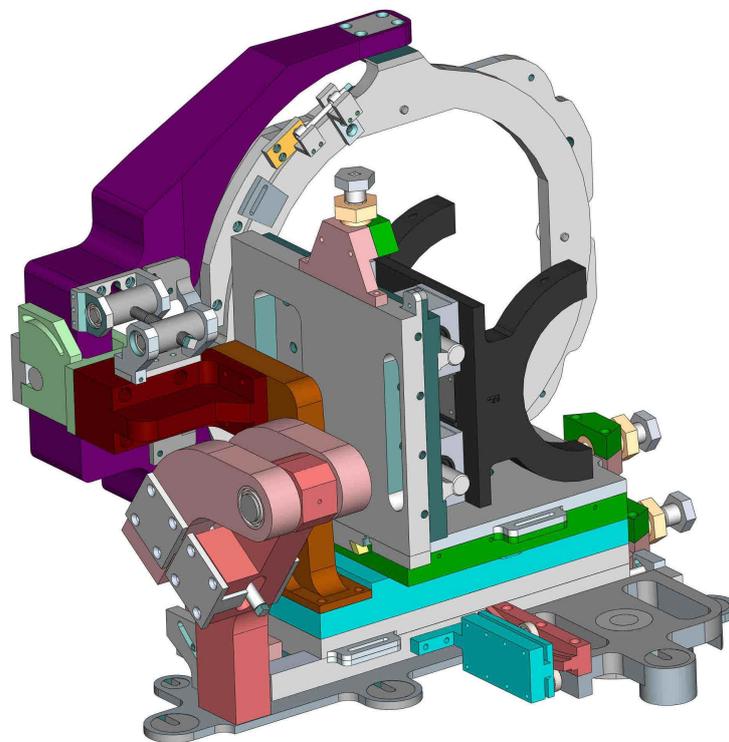


Figura 4: Vista isométrica do suporte “camera criostato” canal azul finalizado sem elementos de fixação (parafusos) e também sem o criostato fixado.

7 Verificação de projeto

Nesta seção será apresentada todos os pontos considerados imprescindíveis para avaliação da viabilidade do projeto. Cada subseção apresenta de forma sistemática o processo de validação de cada requisito correlato.

7.1 Dos requisitos mecânicos

7.1.1 REQ-STE15-101

O suporte do criostato possui um elemento considerado o mais crítico: o garfo de sustentação. Este garfo é responsável por apoiar o criostato em posição e também possui dois eixos de rotação em torno do CCD (ver requisito REQ-STE15-204).

Considerando inicialmente como padrão o Alumínio 7075-T6, esta peça foi simulada estaticamente considerando sua posição padrão de trabalho que é de $68,18^\circ$ em relação ao alinhamento vertical da bancada e peso de $23kg$ para o criostato carregado e $19,8kg$ para o criostato vazio.

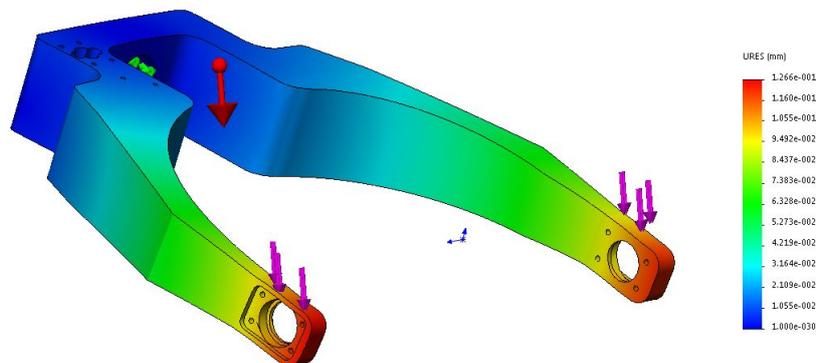


Figura 5: Análise estática do garfo de sustentação considerando o peso máximo do criostato cheio $23kg$.

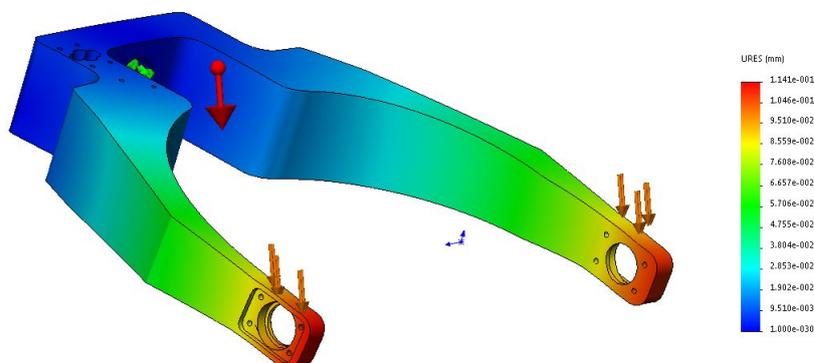


Figura 6: Análise estática do garfo de sustentação considerando o peso do criostato vazio $19,8kg$.

Analisando a figura 5 podemos ver o valor extremo de deslocamento, considerando o ponto fixo nas setas verdes, é de $126,6\mu m$ na ponta vermelha onde é a fixação da flange que suporta o

criostato. E, da figura 6 obtemos os valor de $114,1\mu\text{m}$, considerando o criostato vazio.

O desvio angular devido a esta flexão, considerando 284.379mm (ver figura 7) de distância do ponto fixo, é de $9,078''$.

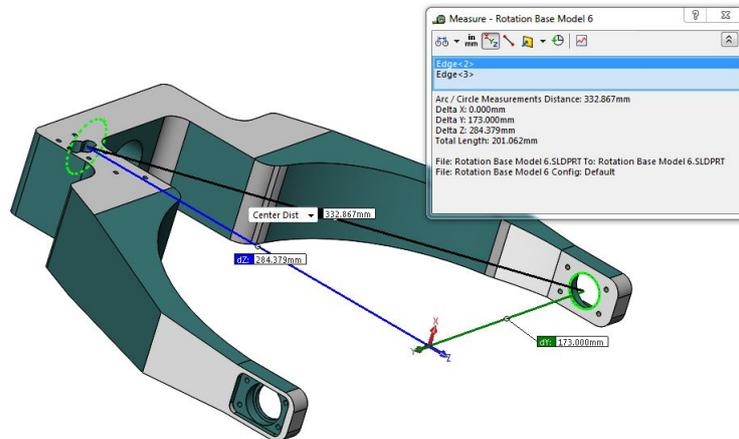


Figura 7: Dados para cálculo do desvio angular causado pela diferença de peso do criostato cheio e vazio.

Se o projeto considerar o conjunto “camera criostato” sem nenhuma fixação traseira para estabilidade vibracional e o fato de haver variação de peso durante o período observacional, a imagem pode ser comprometida. Porém isto é apenas uma suposição e não entrou no processo de simulação. Por se tratar de uma simulação mais complexa, demandaria muito tempo para finalização dos resultados satisfatórios. Portanto, há necessidade de testes finais após fabricação.

Logo, o projeto do garfo de sustentação do criostato, considerado o item mais crítico do conjunto do criostato e cabe a ele sustentá-lo, está validado.

Por outro lado, analisando o suporte “camera criostato”, o elemento mais crítico pela fragilidade e sustentação do conjunto é o braço que sustenta o eixo de rotação em torno da VPH localizado a 240mm afastado do eixo optico. Assim sendo o peso máximo estimado para calcular a torção neste braço de sustentação é 42kg aplicados no centro da face do criostato e o peso mínimo considerando o criostato vazio é de $38,8\text{kg}$ Logo, os resultados de deslocamento apresentados na figura 8 são:

- $214,3\mu\text{m}$ considerando o peso com o criostato cheio
- $198,0\mu\text{m}$ considerando o peso com o criostato vazio

Observa-se que este braço master sofrerá um torção na extremidade (extremidade vermelha na figura 8) no sentido horário. Apesar dos resultados exibirem um grande deslocamento, acredita-se que esta torção será amenizada pelo segundo ponto de apoio localizado próximo ao pivô de rotação em torno do centro da VPH (eixo y).

É importante frisar que a simulação foi feita considerando um ponto de apoio. O suporte “camera criostato” possui mais um ponto de apoio localizado próximo do eixo de rotação em torno da VPH, mas localizado quase rente a bancada óptica. Este resultado já é suficiente para avaliar a viabilidade do sistema, porém ainda há necessidade de validação por testes finais para melhor certificação, uma vez que a simulação é pontual e não considera todos os elementos do projeto.

Finalizando, pode-se notar que o novo suporte não está frágil, mas haverá uma flexão do sistema a medida que ele for sendo montado. Após a finalização da montagem poderá ser notado

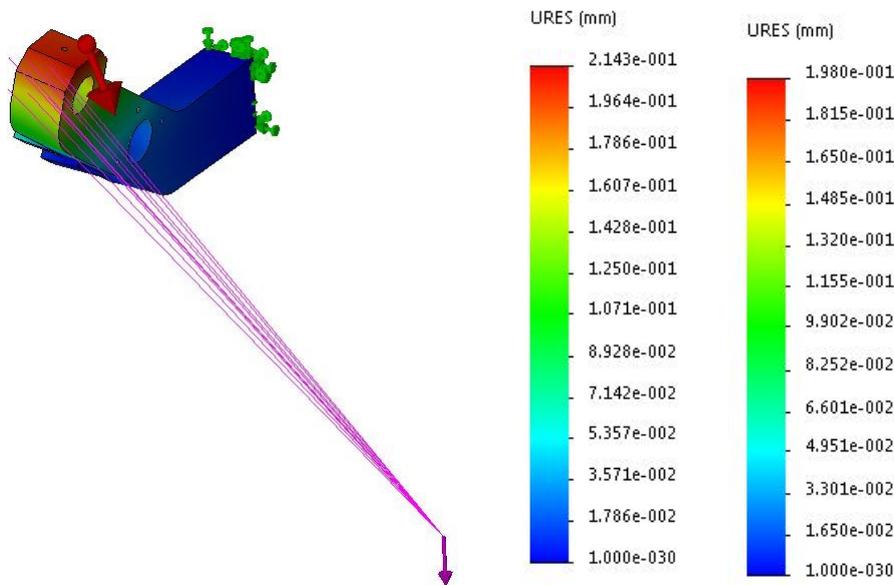


Figura 8: Análise estática do braço de sustentação considerando o peso de $42kg$ (cheio - resultado da esquerda) e $38,8kg$ (vazio - resultado da direita) deslocado a $240mm$ do ponto de torção (próximo a face da flange do criostato) e AISI 304.

uma alteração no ponto de interesse, a coordenada do CCD. Porém, todo sistema estará estável após alinhamento, logo é de supra importância pensar como fixar precisamente o criostato após seu devido alinhamento.

7.1.2 REQ-STE15-102

O projeto já considerou que o controlador e a fonte do CCD irão ser fixados na bancada do espectrógrafo ou próximo dela. De acordo com o resultado final de desenvolvimento, pode-se retirar a antiga base óptica que servia de apoio para o suporte antigo do criostato localizado logo abaixo do frame da bancada óptica. Não haverá necessidade de utilizá-lo novamente. Logo, este “buraco” criado é fundamental para uma boa localização dos componentes eletrônicos do CCD, uma vez que possuem limitações no comprimento do cabo de dados.

7.1.3 REQ-STE15-103

Este requisito, considerado imprescindível pelos técnicos responsáveis pela manutenção do telescópio SOAR, foi considerado e alcançado. O criostato pode ser desmontado do novo suporte apenas por parafusos na flange do criostato. No projeto existente do criostato, há um furo para inserção de pinos de posicionamento rápido quando tal manutenção for necessária. Não pode-se afirmar qual é o grau de precisão do reposicionamento rápido devido ao fato do criostato estar preso apenas pela flange, ficando ele livre em toda extensão de seu corpo. Assim, é conclusivo afirmar que o criostato sofrerá realinhamento após tais procedimentos. Ver figura 9.

7.1.4 REQ-STE15-104 e 105

Em princípio, todos os atuadores e fixadores (Ver figura 10) estão localizados de maneira a facilitar o trabalho do operador. Mas, é claro que depende do conjunto final, pois esta análise é

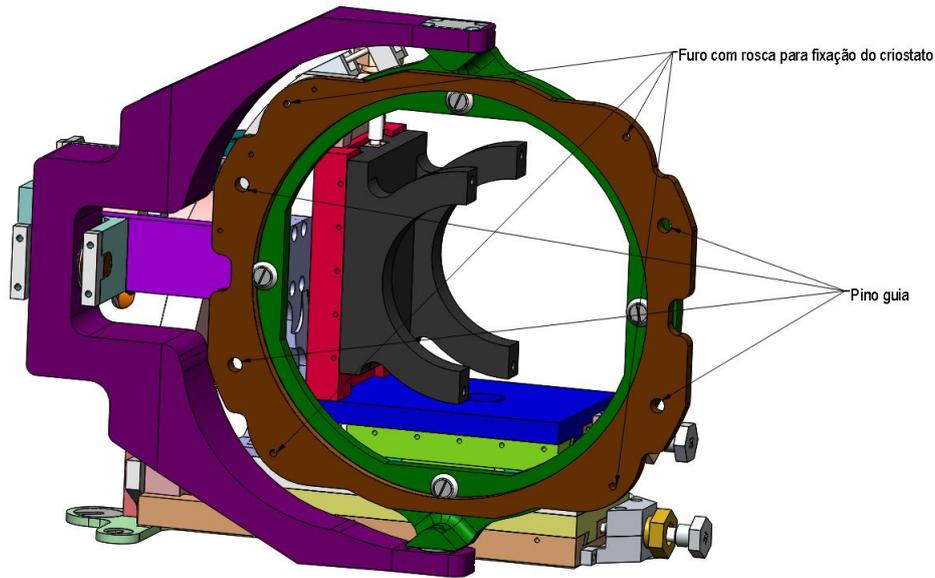


Figura 9: Pontos para fixação e guia do criostato. Note que não há nenhuma peça ou item do suporte que interfira no processo de remoção e montagem.

feita considerando apenas os elementos vizinhos limítrofes, a rede ECHELLE, o fold mirror e a rede VPH.

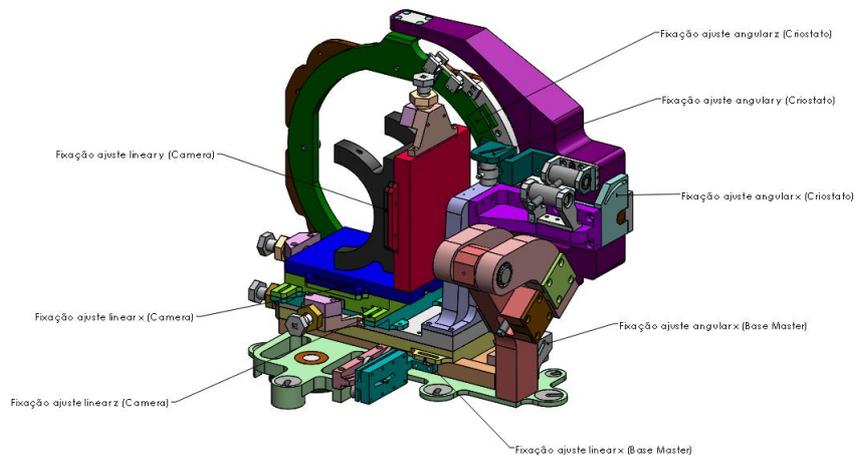


Figura 10: Pontos para fixação para o conjunto vermelho.

7.1.5 REQ-STE15-106 e 107

De acordo com a reunião do dia 10 de Abril de 2015⁷ os dois conjuntos azul e vermelho agora recebem os pontos de metrologia seguindo o requisito e o documento referencial “Pontos de metrologia do novo suporte do criostato”.

A figura 11 apresenta os pontos de metrologia para criostato azul e a figura 12 para o criostato vermelho. Os pontos D, E, F, L, M e N não obedecem o documento de referência, por entender

⁷Ver A.

que, produzir pontos de metrologia nas condições determinadas pelo documento de referência induz a um erro por dificuldades de usinagem.

Já o requisito REQ-STE15-107 não poderá ser implementado pois o desenvolvimento do novo suporte resultou em um sistema sem condição de ponto de içamento. O conjunto pode e deve ser manuseado pelas mãos, pois içá-lo por um ponto poderá danificar a estrutura do conjunto.

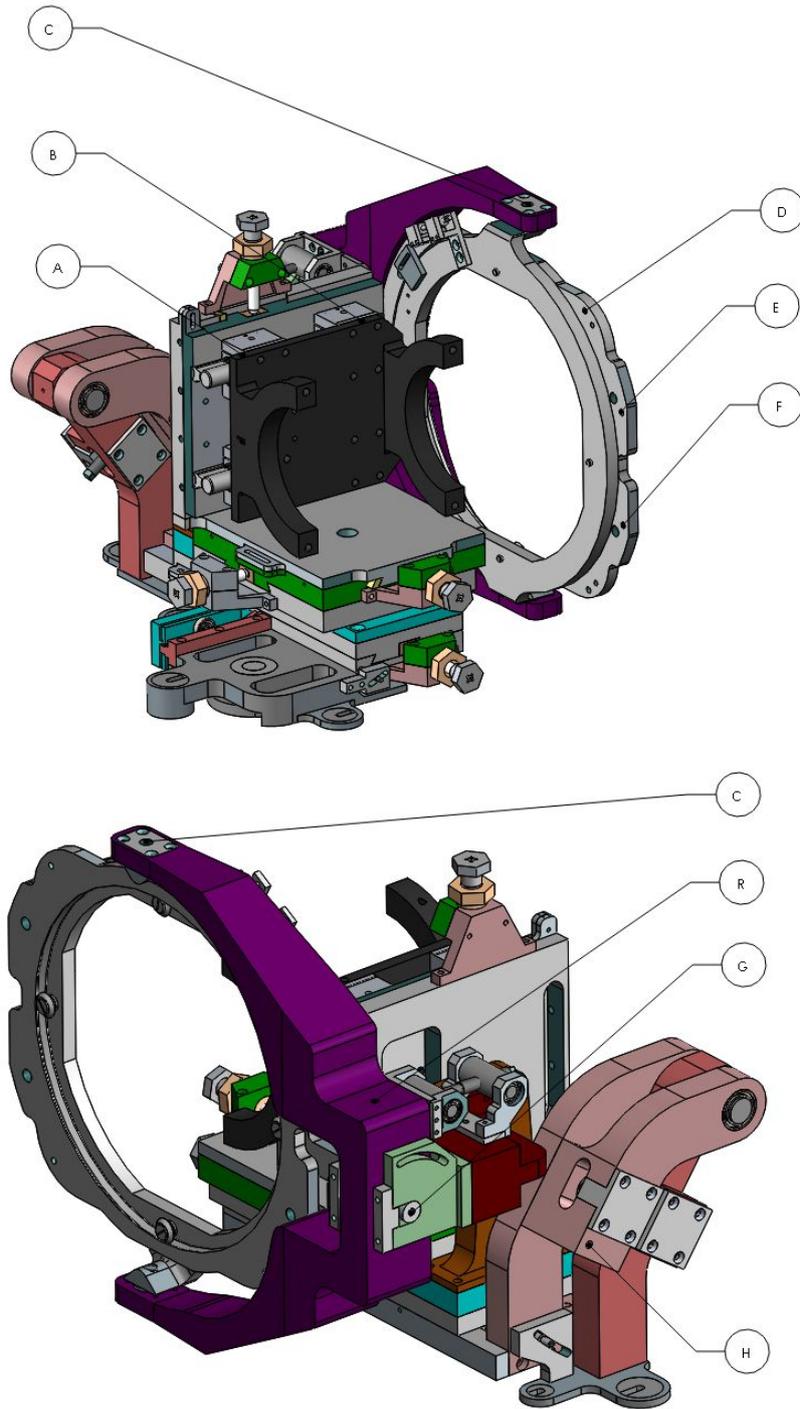


Figura 11: Pontos de metrologia para o conjunto azul com rótulos idênticos ao da figura 2 e 3 do documento de referência “Pontos de metrologia do novo suporte do criostato”.

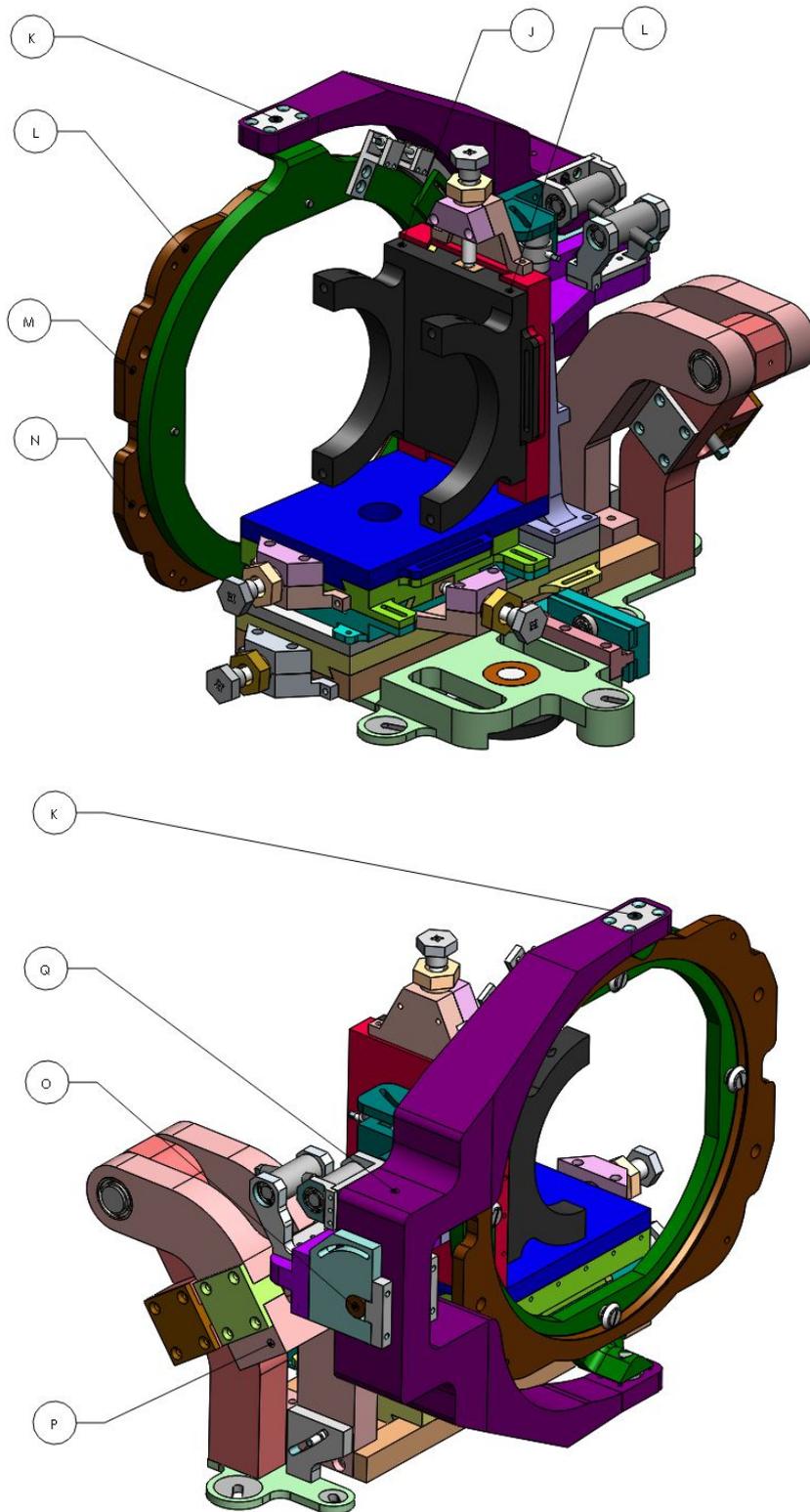


Figura 12: Pontos de metrologia para o conjunto vermelho com rótulos idênticos ao da figura 2 e 3 do documento de referência “Pontos de metrologia do novo suporte do criostato”.

7.2 Dos requisitos ópticos

7.2.1 REQ-STE15-201 e 202

Estes requisitos podem ser validados apenas por inspeção do desenho apresentado nas figuras 3 e 4. Os dois componentes estão devidamente ligados ao suporte “camera criostato” e cada um possuem seu próprio sistema de alinhamento, segundo os requisitos REQ-STE15-203, REQ-STE15-204.

7.2.2 REQ-STE15-203

Os ajustes lineares da camera vermelha estão apresentados na figura 13 e da camera azul na figura 14. Todos os lineares x e y estão acima do limite requisitado. Apenas o eixo z da camera vermelha possui limitações intrínsecas do projeto sendo crítico a medida que se aproxima a camera do CCD. Não há mecanismos e meios de contornar esta limitação. Se aproximar a camera $3mm$ na direção do CCD a partir da posição padrão definida pelo projeto óptico, o limite angular para rotação do criostato no seu suporte será de $1,25^\circ$.

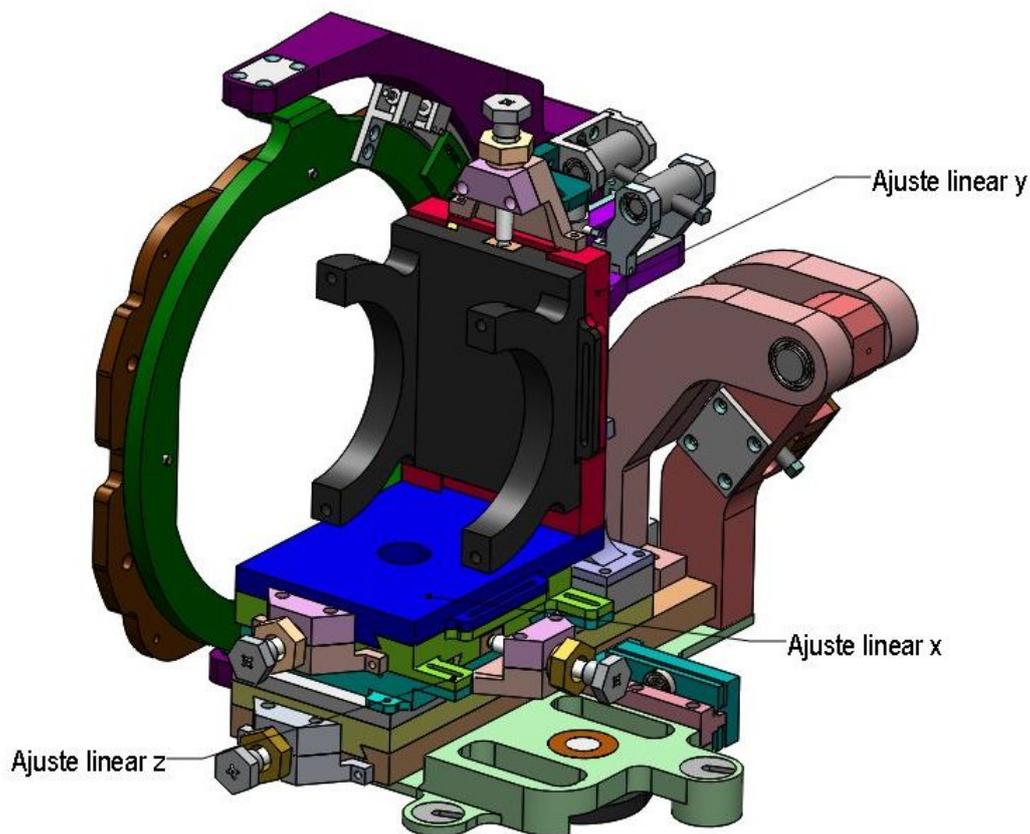


Figura 13: Orientação dos ajustes lineares para o suporte da camera vermelha independente do conjunto “camera criostato”.

As tolerâncias nos ajustes lineares do suporte da camera são calculados a partir da diferença das roscas M10x1,25 e M8x1,00 resultando em um passo de $250\mu m$ por volta na cabeça do atuador.

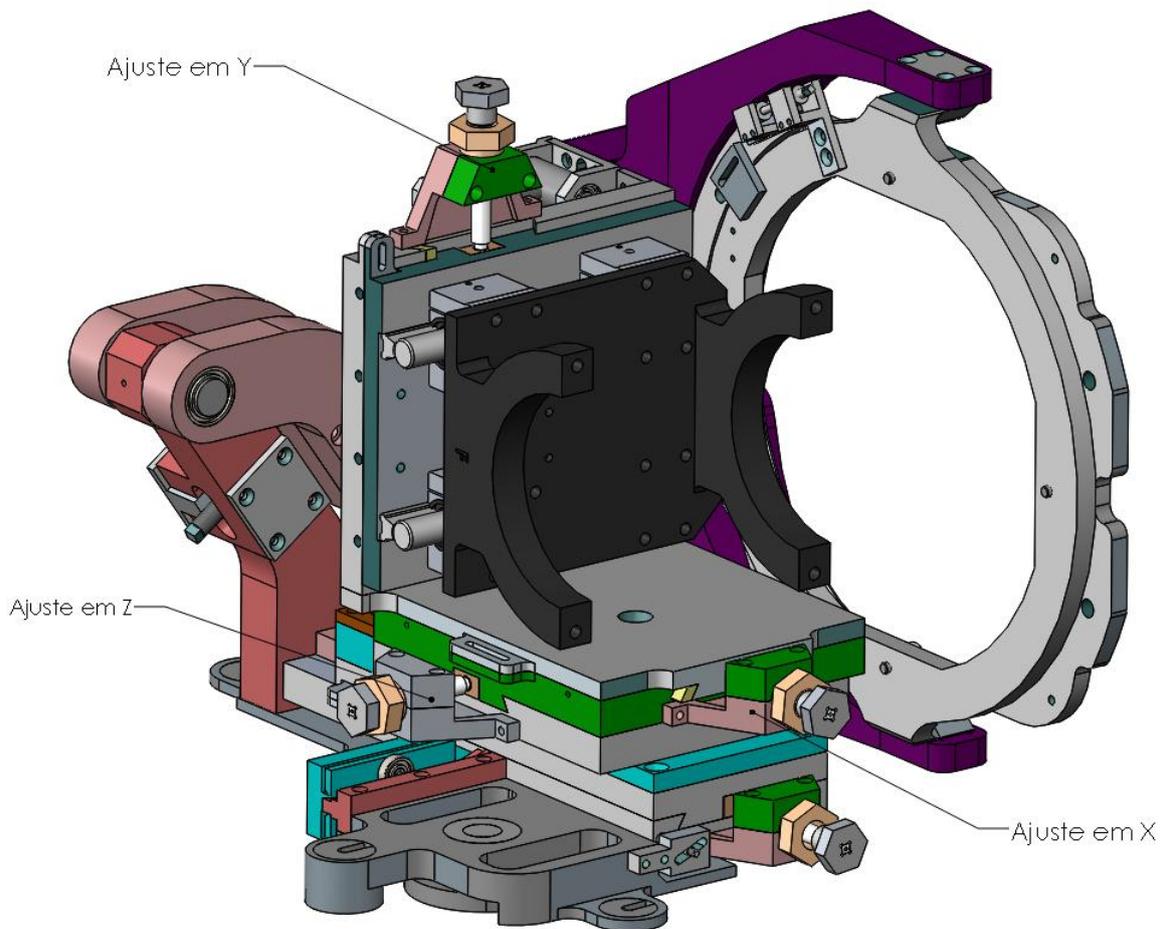


Figura 14: Orientação dos ajustes lineares para o suporte da camera azul independente do conjunto “camera criostato”.

7.2.3 REQ-STE15-204

Os angulares críticos são em torno dos eixos x e y , sabendo que o eixo z é rotação em torno do eixo óptico. Ver a figura 15 para melhor entendimento.

Assim pela lei dos cossenos $c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos \alpha$, onde $c = 6,127mm$, $a = 137,42mm$ e $b = 137,42mm$ (Dados apresentados na figura 16), o ângulo máximo para rotação em torno dos eixos x e y é $2,55^\circ$. Lembrando que $2,55^\circ$ toca no canto superior e inferior do suporte da camera.

De acordo com o requisito, este limite é de 2° . Assim sendo o projeto está no limite de ajuste de rotação do suporte do criostato. Não há necessidade de considerar cálculos na rotação em torno do eixo óptico porque este é determinado pelo atuador que o regula, conforme apresentado na figura 17. Em contrapartida o limite angular em torno dos eixos x e y tornam-se mais críticos quando utilizados em conjunto em uma determinada direção porque um é limitado pelo outro.

Considerado mais crítico nesta análise é o fato que quanto mais se ajusta o foco da camera do canal vermelho, mais crítico fica este limite. A cada $1mm$ aproximando a camera ao CCD perde-se $0,42^\circ$ no valor máximo permitido.

As precisões dos atuadores angulares, calculados a partir dos deslocamentos lineares dos mesmos:

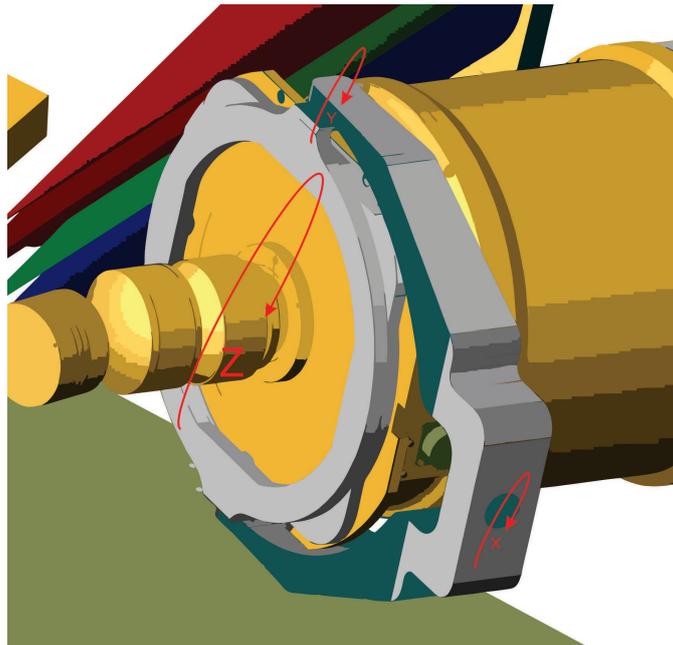


Figura 15: Figura mostrando os eixos de rotação.

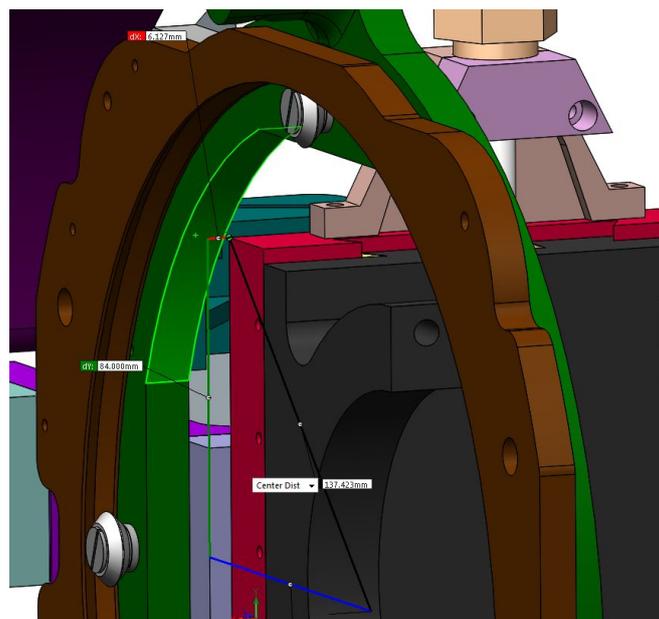


Figura 16: Análise de limite angular no posicionamento do criostato.

- **Angular** x calculado pela diferença das roscas M10X1,25 e M8X1,00 resultando em um passo de $0,25\text{mm}$ por volta no parafuso atuador e distante 51mm do centro de rotação resulta num deslocamento angular de $16,85171673^\circ$ por volta no parafuso atuador.
- **Angular** y calculado pela diferença das roscas M5X0,8 e M4X0,7 resultando em um passo de $0,1\text{mm}$ por volta no parafuso atuador e distante 169mm do centro de rotação resulta num deslocamento angular de $2,022204012^\circ$ por volta no parafuso atuador.
- **Angular** z calculado pela diferença das roscas M5X0,8 e M4X0,7 resultando em um passo

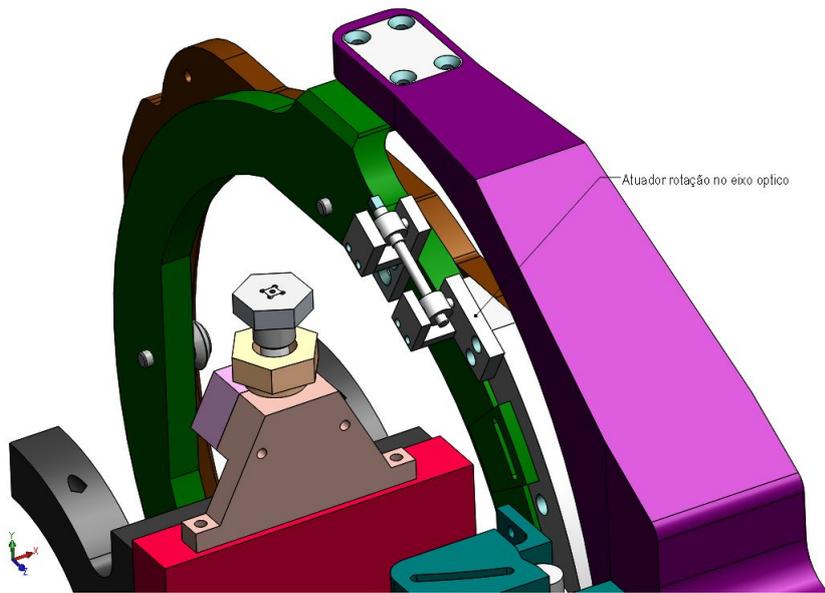


Figura 17: Análise de limite angular no posicionamento do criostato na direção do eixo óptico. O limite é dado pelo comprimento do atuador diferencial.

de $0,1\text{mm}$ por volta no parafuso atuador e distante 174mm do centro de rotação resulta num deslocamento angular de $1,975716562^\circ$ por volta no parafuso atuador.

As tolerâncias por volta nos atuadores angulares nos casos y e z estão dentro do requisitado, porém na direção x está oito vezes maior. Para minimizar o impacto desta tolerância por volta na cabeça do atuador é possível utilização de um “knob” grande para maior sensibilidade.

7.2.4 REQ-STE15-205

O conjunto final “Camera Criostato” possui ajuste linear na direção perpendicular ao eixo óptico e paralelo ao plano da bancada com limite máximo de movimento da ordem de $\pm 13\text{mm}$, conforme figura 18.

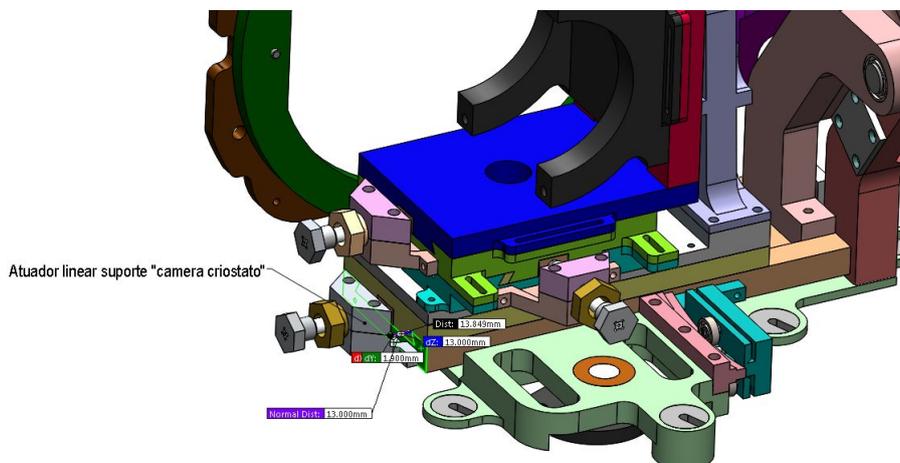


Figura 18: Análise de limite posicionamento do conjunto “camera criostato”. A tolerância é dada pelas diferenças das roscas do atuador diferencial.

As tolerâncias nos ajustes lineares do suporte da camera são calculados a partir da diferença das roscas M10x1,25 e M8x1,00 resultando em um passo de $250\mu m$ por volta na cabeça do atuador.

7.2.5 REQ-STE15-206

O conjunto final “Camera Criostato” possui apenas 3° de ajuste angular para ambos os lados com relação a posição padrão definida pelo projeto óptico. A obtenção deste número foi feita por simulação no solidworks segundo imagem da figura 19. Vale lembrar que esta limitação se estende também na base master que dá movimentação linear em x .

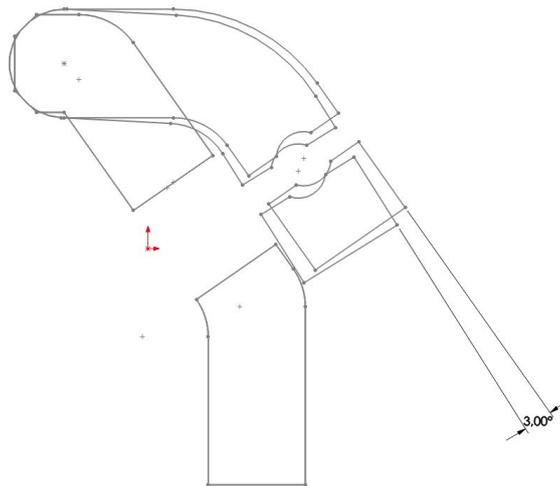


Figura 19: Simulação do limite de movimento angular para o conjunto “camera criostato”.

8 Vantagens e desvantagens em relação ao projeto executado

8.1 Vantagens

- Maior robustez ao suporte, porém há um incremento de massa em relação ao projeto executado. Este incremento é compensado com a retirada da plataforma de extensão da bancada óptica.
- Devido a robustez o suporte possui uma baixa amplitude de variação em torno da posição ajustada durante a operação, considerando o esvaziamento/preenchimento do reservatório de nitrogênio.
- Facilidade de remoção do criostato para manutenção e sua montagem é rápida.
- Atuadores acessíveis pelo operador, facilitando o trabalho.
- Todos os graus de liberdade definidos pelos requisitos de projeto foram alcançados, porém alguns com limitações de range.
- Atuadores extremamente precisos utilizando parafusos de rosca diferencial específicos

8.2 Desvantagens

- Há necessidade de fabricação de todos os componentes, pois não há possibilidade de aproveitamento do projeto existente
- Por ser um projeto apenas validado por análise e simulações, a validação final de sua real eficiência e proposta será por testes.

A Notas de Reunião do dia 10 de Abril de 2015

- Recalcular o deslocamento do garfo de sustentação do criostato considerando-o cheio e vazio
- Recalcular o deslocamento do braço master de sustentação considerando apenas AISI 304
- Fixação do ajuste linear da base master
- Fixação do ajuste angular em torno do eixo y do criostato azul
- Fazer os pontos de metrologia fixos no sistema (REQ-STE15-106)

B Notas de Reunião do dia 23 de Abril de 2015

- Foi identificado durante a reunião que os atuadores posicionados ao longo do eixo Z não atuam no subconjunto da camera azul de modo a ajustá-la. Portanto, há necessidade de ajuste linear em Z .