



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.24.18.44-NTC

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MECÂNICOS PARA LANÇAMENTO DE BALÕES ESTRATOSFÉRICOS

Viktor Koldaev

Nota Técnico-Científica (NTC) Desenvolvimento de sistemas para lançamento do balão científico com experimento “protoMIRAX” pelo processo 455097/2013-5. Apresentação dos resultados de testes e desenhos de projeto de engenharia.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3ECULQ5>>

INPE
São José dos Campos
2017

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação (CPG)

Membros:

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CEA)

Dra. Carina de Barros Melo - Coordenação de Laboratórios Associados (CTE)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação de Engenharia e Tecnologia Espacial (ETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SID) **BIBLIOTECA DIGITAL:**

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/05.24.18.44-NTC

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS MECÂNICOS PARA LANÇAMENTO DE BALÕES ESTRATOSFÉRICOS

Viktor Koldaev

Nota Técnico-Científica (NTC) Desenvolvimento de sistemas para lançamento do balão científico com experimento “protoMIRAX” pelo processo 455097/2013-5. Apresentação dos resultados de testes e desenhos de projeto de engenharia.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3ECULQ5>>

INPE
São José dos Campos
2017



Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Projeto ProtomIRAX e à Setor de Lançamento de Balões da CEA-1 do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pelo suporte oferecido para a realização trabalhos. Agradeço especialmente a todos os representantes do SEMA e do LIT e demais pessoas que participaram deste trabalho, fabricando e testando os sistemas desenvolvidos.

RESUMO

Neste relatório são apresentados os resultados do desenvolvimento e dos testes de sistemas mecânicos para ligação do balão estratosférico a gondola do experimento científico “protoMIRAX” no processo **455097/2013-5**. O trabalho realizado pelo bolsista Viktor Koldaev (bolsa PSI-DA, processos individuais 302582/2014-2 e 312736/2015-0) no período de 30/06/15 até 31/05/17.

Palavras-chave: Balão estratosférico. Gondola. Testes de sistemas.

ABSTRACT

In present report the result of development and the tests by process **455097/2013-5** of mechanic systems for scientific gondola “protoMIRAX” are presented. This work is produced by Viktor Koldaev (PSI-DA, personal process s 302582/2014-2 e 312736/2015-0) during period of 30/06/15 -31/05/17.

Keywords: Stratospheric balloon. Gondola. Tests of systems.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Ligação do balão com paraquedas
- Figura 2. Ligação do paraquedas á gondola “protoMIRAX
- Figura 3. Corte do separador com destorcedor e com interface da Versão2..
- Figura 4. Separador da Versão 2 durante integração.
- Figura 5. Separador com interface da Versão 2
- Figura 6. Base do separador da Versão 2
- Figura 7. Trava do separador da Versão 2
- Figura 8. Chave do separador da Versão 2
- Figura 9. Chave do separador da Versão 2
- Figura 10. Rolamento do separador da Versão 2
- Figura 11. Interface para separador da Versão 2
- Figura 12. Destorcedor para separador da Versão 2
- Figura 13. Corpo do destorcedor para separador da Versão 2
- Figura 14. Eixo do destorcedor para separador da Versão 2
- Figura 15. Rolamento do destorcedor da Versão 2
- Figura 16. Interface de paraquedas com tralha
- Figura 17. Cabo da tralha Versão 1
- Figura 18. Cabo da tralha Versão 2
- Figura 19. Cabo da gondola
- Figura 20. Características dos cabos da tralha e da gondola.
- Figura 21. Interface de paraquedas com a tralha.
- Figura 22. Travessa da tralha.
- Figura 23. Base do triangulo.
- Figura 24. Apoio do triangulo.
- Figura 25. Manilha do triangulo.
- Figura 26. Bucha do triangulo.
- Figura 27. Reforço do triangulo.
- Figura 28. Eixo do triangulo.
- Figura 29. Cortes do separador da Versão 4 em posição fechado e aberto.
- Figura 30. Detalhes do separador da Versão 4

- Figura 31. Desenho de integração do separador da Versão 4.
- Figura 32. Desenho da base do separador da Versão 4.
- Figura 33. Desenho do suporte do separador da Versão 4.
- Figura 34. Desenho da trava do separador da Versão 4.
- Figura 35. Desenho do anel do separador da Versão 4.
- Figura 36. Desenho do apoio da esfera do separador da Versão 4.
- Figura 37. Desenho da bucha da chave do separador da Versão 4.
- Figura 38. Desenho da chave do separador da Versão 4.
- Figura 39. Imagem das tensões no interface do separador Versão 2.
- Figura 40. Imagem das tensões na base do separador Versão 1.
- Figura 41. Imagem das tensões na trava do separador Versão 1.
- Figura 42. Imagem das tensões no eixo do destorcedor da Versão 1.
- Figura 43. Teste de funcionamento dos separadores da Versão 2 no dispositivo com molas aplicando a carga nominal de 800 kgf.
- Figura 44. Teste de funcionalidade dos separadores da Versão 2 e 4 com carga nominal de 800 kgf ($G=1$) em câmara climática do LIT.
- Figura 45. Teste de resistência de 2 conjuntos do sistema de voo com separadores da versão 2 com carga de 2200 kgf usando caminhão.
- Figura 46. Teste de resistência na prensa do separador com destorcedor e com interface da Versão 4 com carga máxima de 6400 kgf ($G=8$).

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. PROJETO DO SISTEMA DE VOO.....	8
3. SISTEMA DE LIGAÇÃO DO BALÃO A GONDOLA, VERSÃO 2.....	10
4. SISTEMA DE LIGAÇÃO DO BALÃO A GONDOLA, VERSÃO 4.....	35
5. ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS PEÇAS.	43
6. TESTES DOS SEPARADORES E DAS PARTES DO SISTEMA.....	46
7. CONCLUSÕES GERAIS	48
REFERENCIAS.....	49

1. INTRODUÇÃO

O Setor de Lançamento de Balões do INPE é responsável pelo lançamento de balões estratosféricos durante missões científicas e pela recuperação das gondolas com os experimentos. Através do processo **455097/2013-5** de bolsas PCI/CNPq, estão sendo preparados dispositivos para lançamento do experimento científico “protoMIRAX”. No plano de trabalho proposto para o bolsista Viktor Koldaev (bolsa PSI-DA, processos individuais 302582/2014-2 e 312736/2015-0) no período de 30/06/15 até 31/05/17 foi programado o desenvolvimento de sistemas mecânicos para balões de grande porte que serão utilizados no lançamento deste experimento.

O objetivo deste trabalho é projetar e testar dispositivos e conexões da ligação do balão à gondola, que fazem parte dos sistemas de lançamento de balões.

Neste relatório são apresentados os resultados do desenvolvimento de sistemas mecânicos para ligação do balão a gondola para lançamento de balões estratosféricos.

2. PROJETO DO SISTEMA DE VOO

Os requisitos principais para dispositivos do sistema mecânico de voo incluíam:

1. Aceleração de 5 g com fator de segurança mínimo de 2, /1, 2 e 3/, para a carga máxima com a gondola e com dispositivos do sistema de voo total de 800 kgf.
2. Dois canais redundantes de separação do balão com atuação independente.
3. Alimentação elétrica de 24 VDC para atuação por dois telecomandos autônomos com carga máxima elétrica de 1,2 A e duração máxima de separação de 15s;
4. Separação segura durante e depois de exposição em condições de voo na altura de até 42 km com pressão ambiental de 2 mbar até 1 bar e temperaturas de -70 °C a 30 °C.

Uma visão geral do sistema de voo para experimento “protoMIRAX” é apresentada na Figura 1 e as partes da ligação do balão á paraquedas é apresentada na Figura 2.

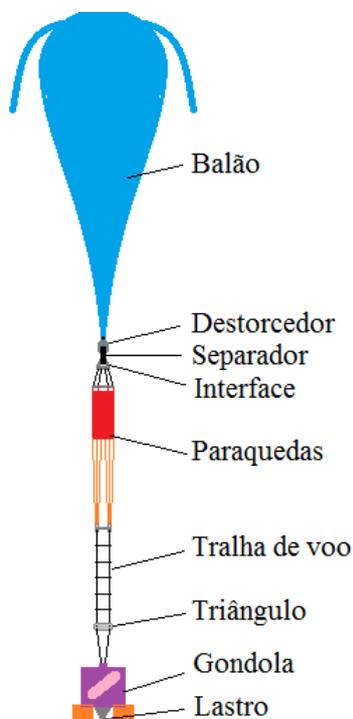


Figura 1. Sistema de voo para experimento “protoMIRAX”

A massa total do conjunto de voo para experimento “protoMIRAX” foi estimada em 1430 kgf incluindo: balão Raven-Aerostar SF-14.40-8/8-NA- 810 kg, gôndola com lastro- 540 kg, paraquedas- 38 kg, tralha de voo com triângulo - 31 kg e separador com destorcedor e interface-11 kg.

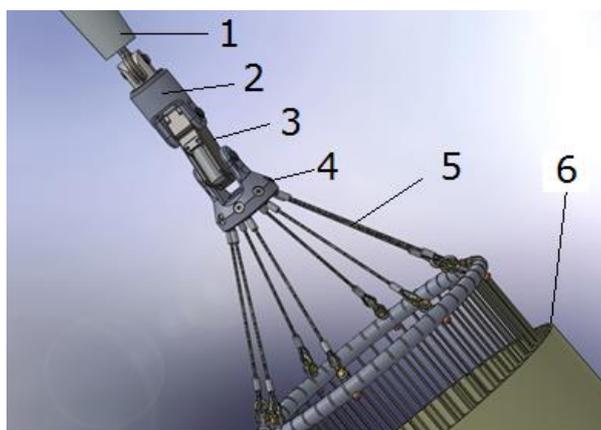


Figura 2. Ligação do balão com paraquedas: 1- balão; 2- destorcedor; 3- separador; 4- interface de separador-paraquedas; 5- cabos; 6- paraquedas.

Durante o desenvolvimento deste projeto foram configurados e dimensionados os conjuntos e peças da ligação do balão á gôndola de 486 kgf em 6 versões. Após a análise das diversas variantes das ligações foram selecionadas para fabricação e testes os separadores das Versões números 2 e 4.

3. SISTEMA DE LIGAÇÃO DO BALÃO A GONDOLA, VERSÃO 2

Os desenhos dos dispositivos do separador da Versão 2 são ilustrados nas Figuras 3 a 15, os desenhos do interface do paraquedas com a tralha são ilustrados nas Figuras 16 a 22 e os desenhos do interface do triângulo são ilustrados nas Figuras 23 a 28 (os desenhos ilustrados podem apresentar as versões anteriores).

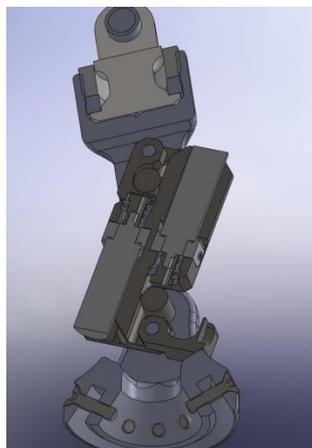


Figura 3. Corte do separador com destorcedor e com interface da Versão 2.



Figura 4. Separador da Versão 2 durante integração.

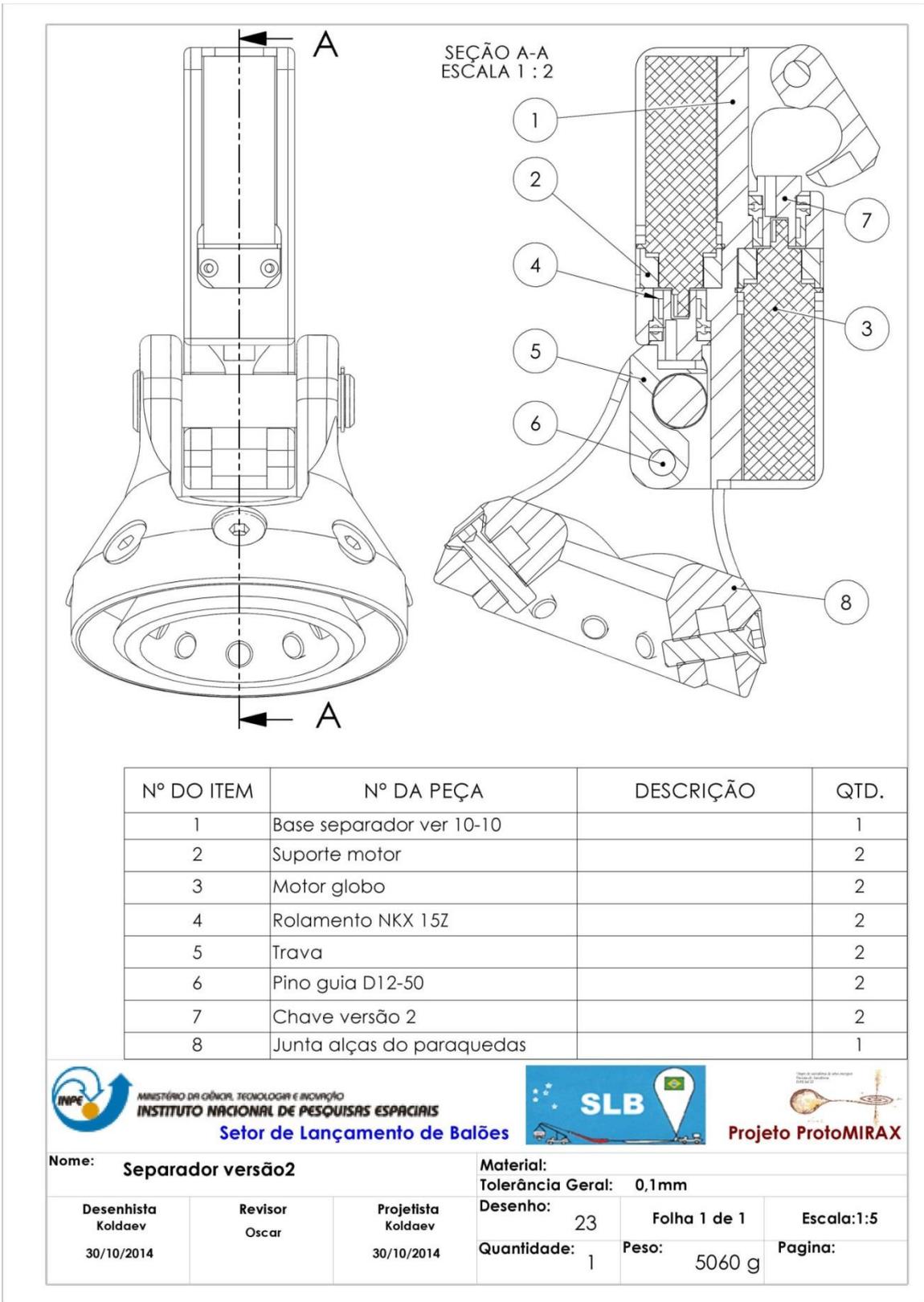


Figura 5. Desenho de integração do separador com interface da Versão 2

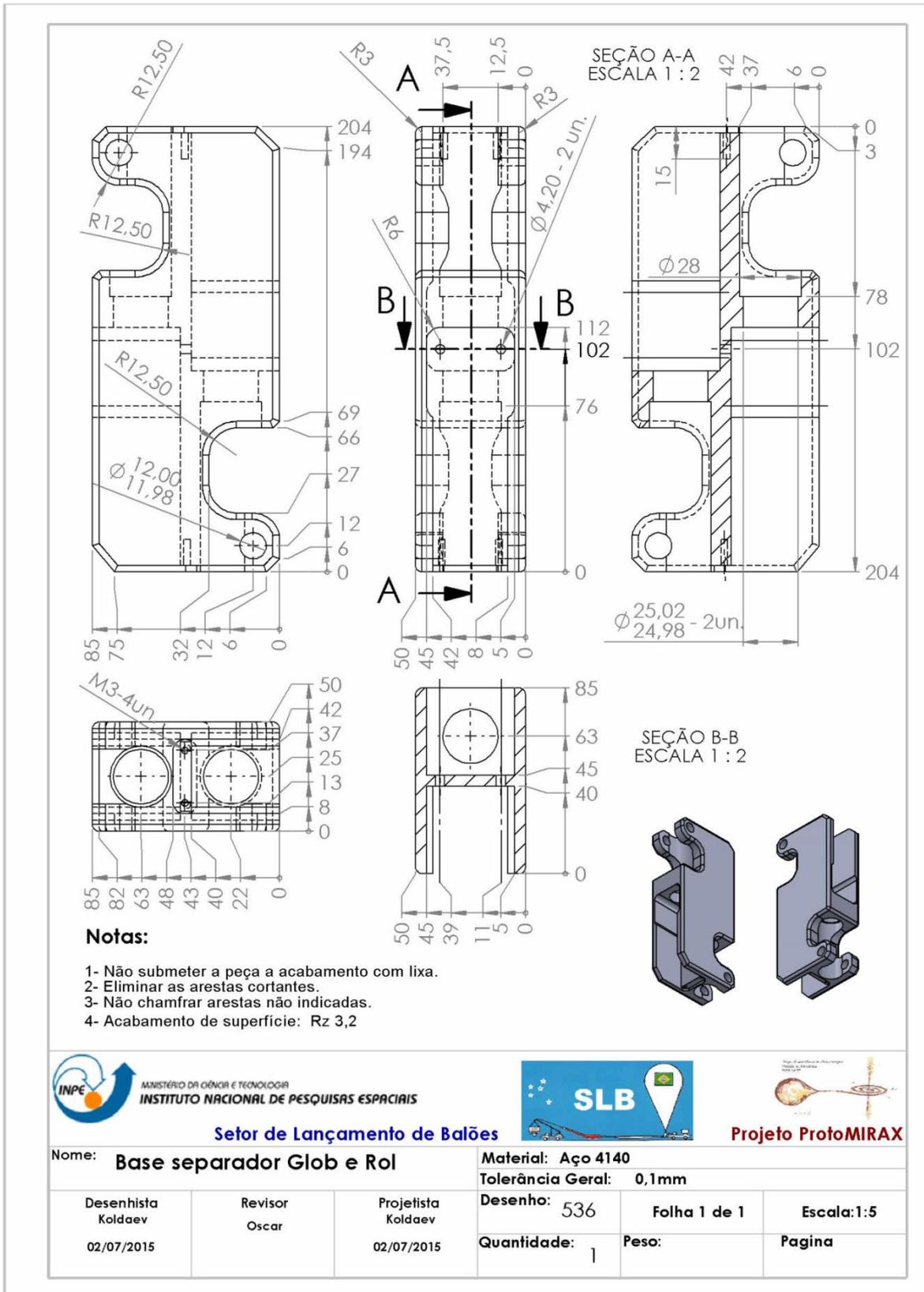


Figura 6. Base do separador da Versão 2

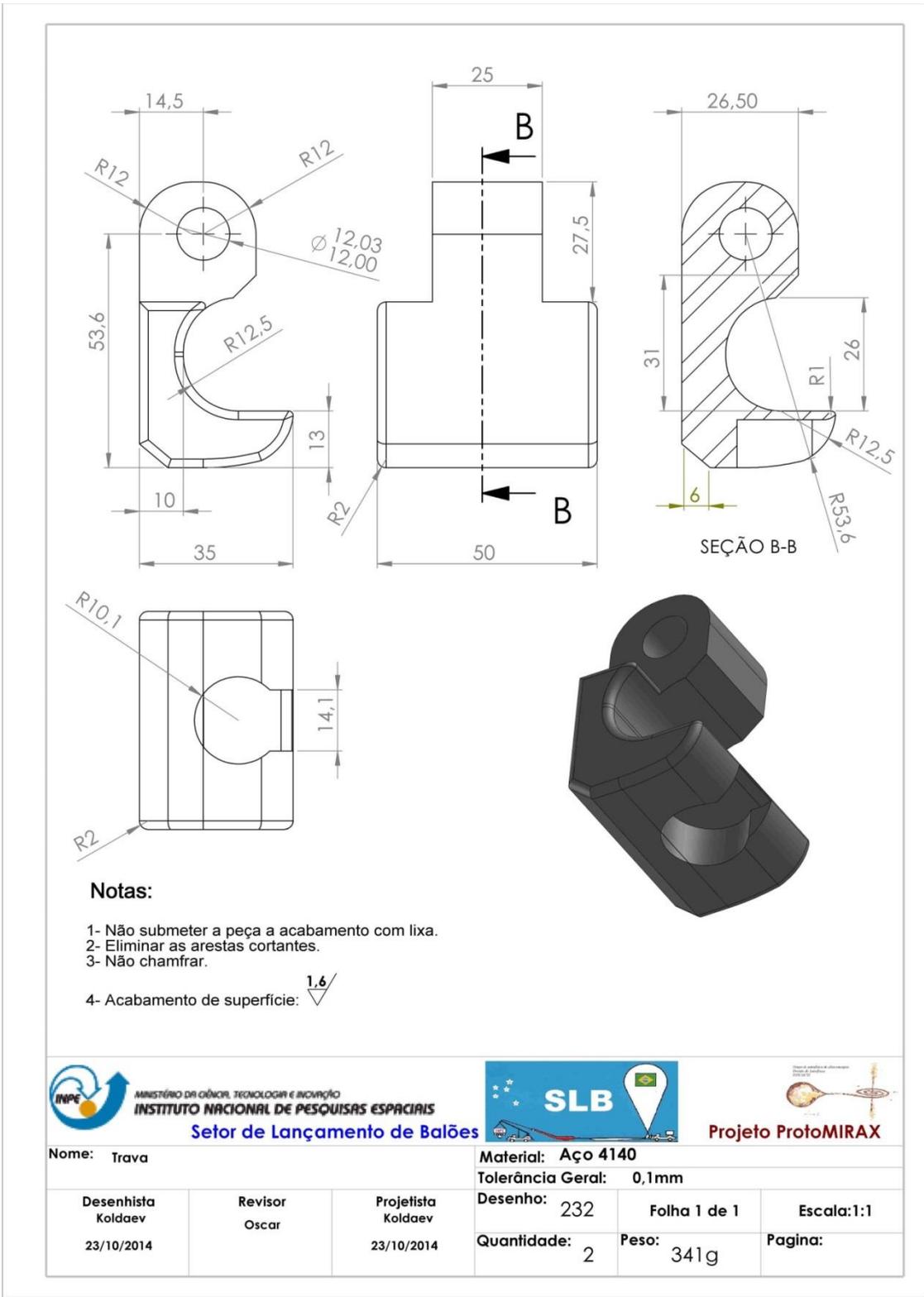


Figura 7. Trava do separador da Versão 2

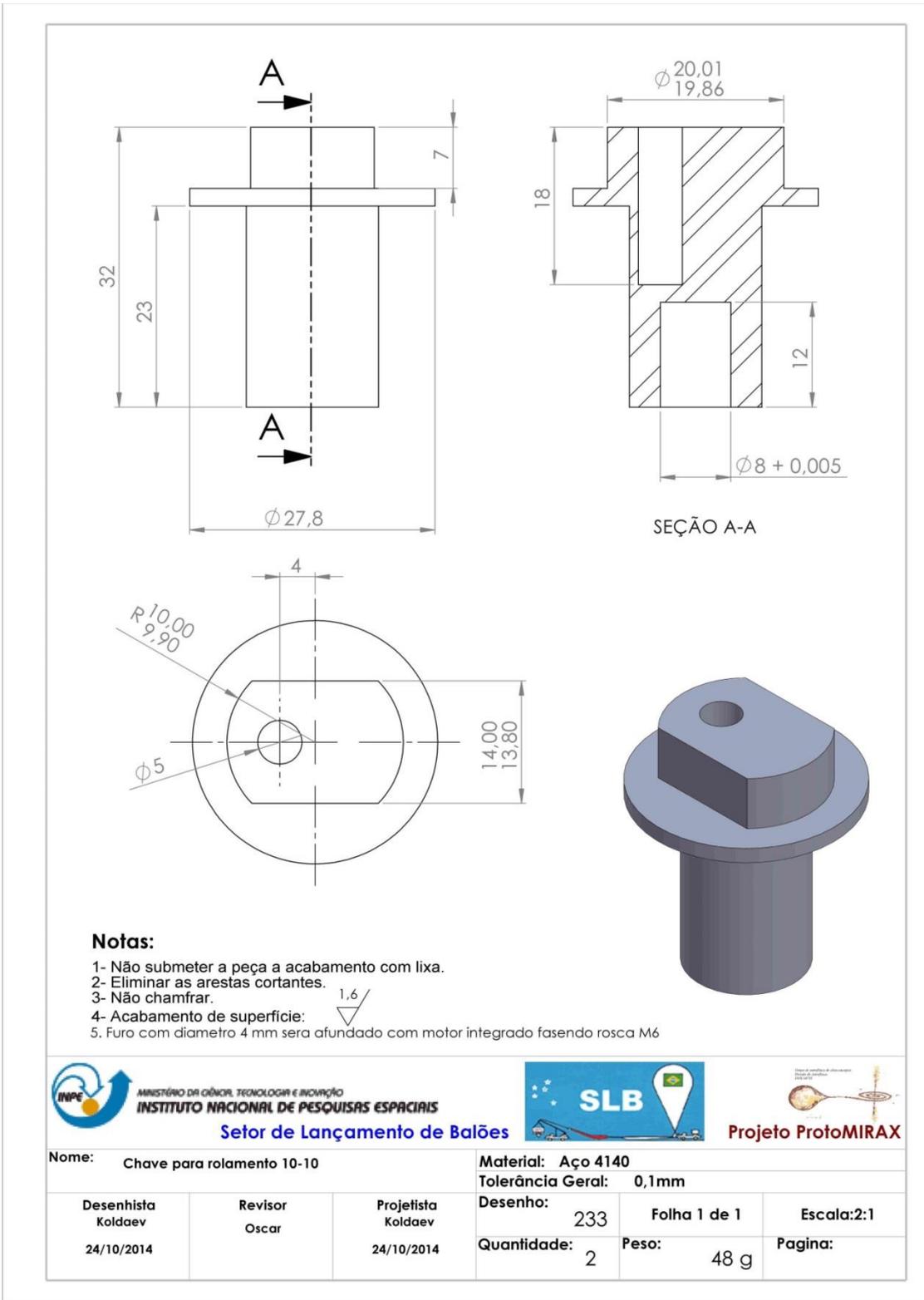
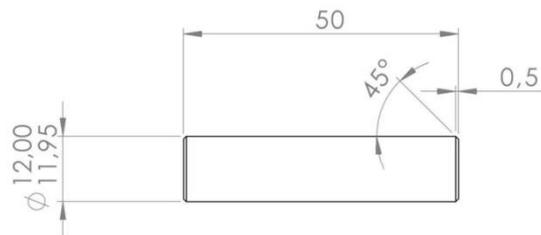


Figura 8. Chave do separador da Versão 2



Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.
- 4- Acabamento de superfície:

 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS Setor de Lançamento de Balões					
Nome: Pino guia D12-50			Material: Aço 4140 Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 29/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 29/10/2014	Desenho: 235	Folha 1 de 1	Escala: 1:1
			Quantidade: 2	Peso: 44 g	Página:

Figura 9. Chave do separador da Versão 2



Figura 10. Rolamento do separador da Versão 2

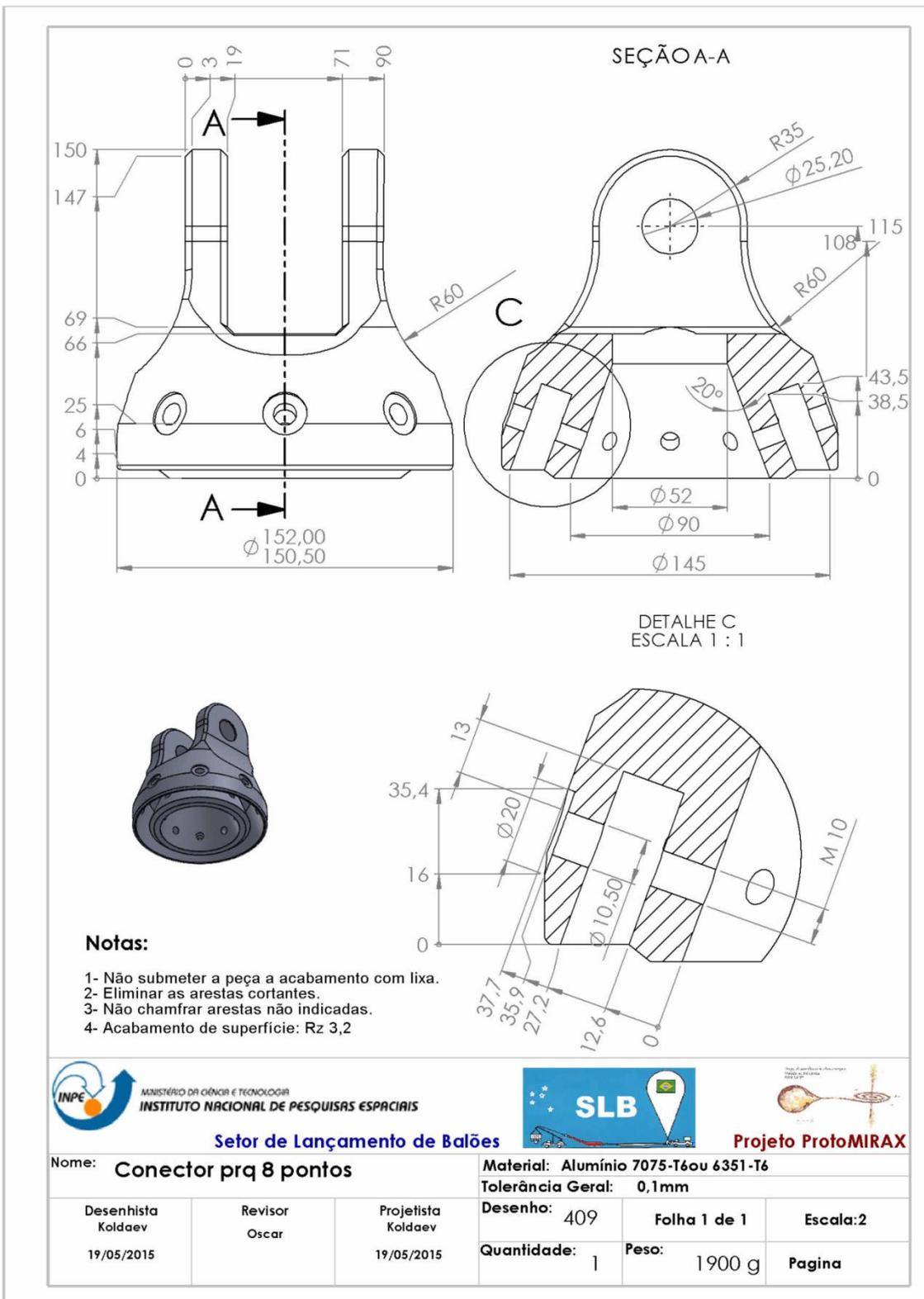


Figura 11. Interface para separador da Versão 2

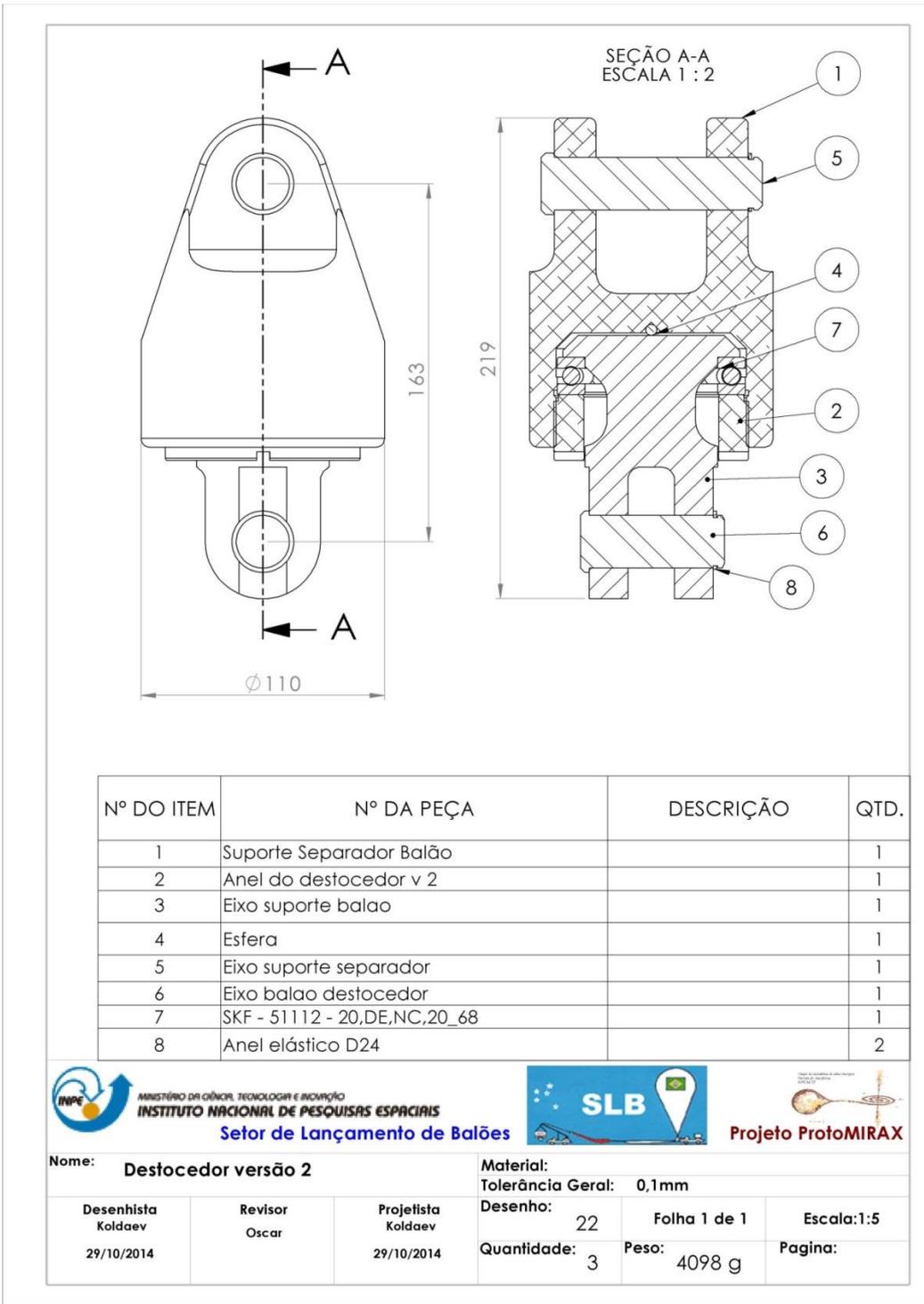
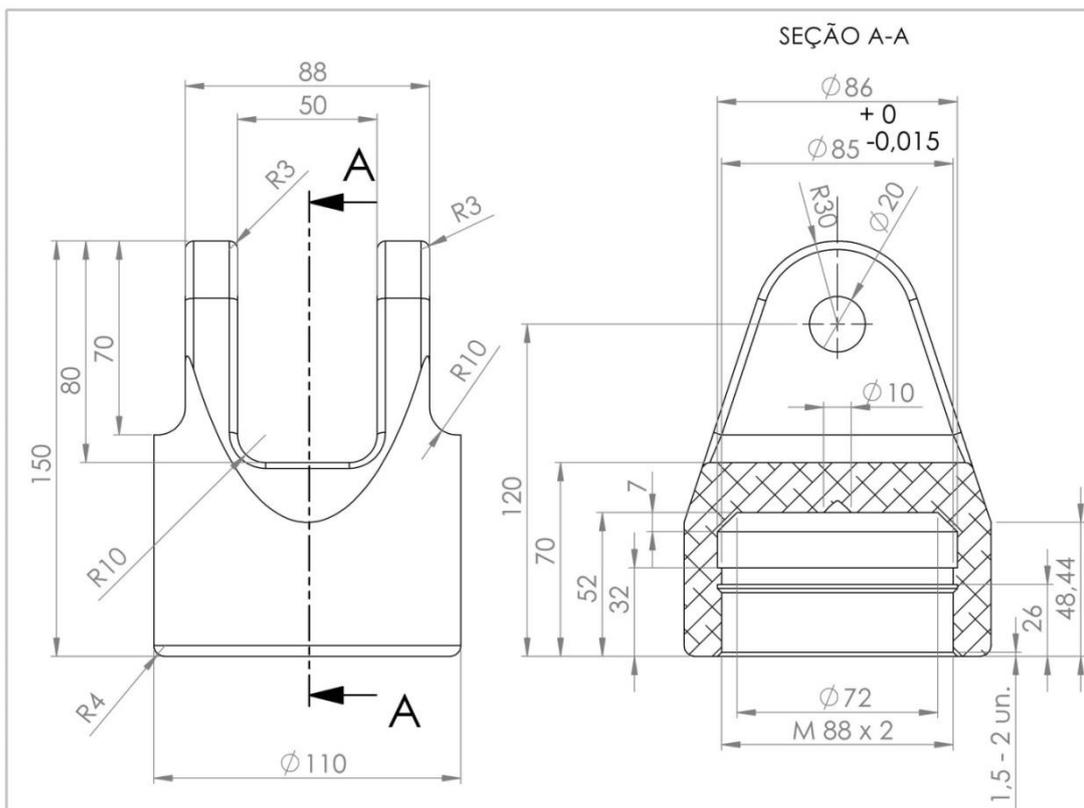


Figura 12. Destorcedor para separador da Versão 2



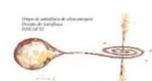
Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.
- 4- Acabamento de superfície:



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

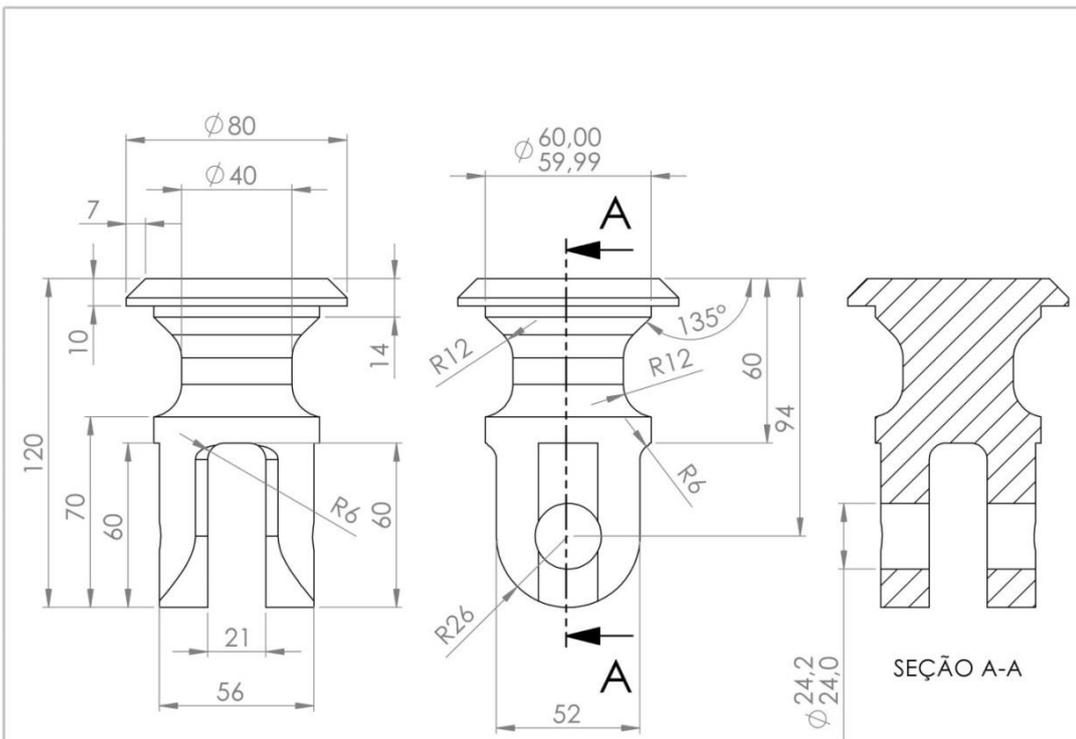
Setor de Lançamento de Balões



Projeto ProtoMIRAX

Nome: Suporte Separador Balão			Material: Alumínio 7075 - T6		
			Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 23/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 23/10/2014	Desenho: 221	Folha 1 de 1	Escala: 1:2
			Quantidade: 3	Peso: 1618 g	Pagina:

Figura 13. Corpo do destorcedor para separador da Versão 2



Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.

4- Acabamento de superfície: $\sqrt{1,6}$



 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS Setor de Lançamento de Balões					 Projeto ProtoMIRAX
Nome: Eixo suporte balao			Material: Aço 4140 Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 23/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 23/10/2014	Desenho: 212	Folha 1 de 1	Escala: 1:2
			Quantidade: 2	Peso: 1639 g	Página:

Figura 14. Eixo do destorcedor para separador da Versão 2



Figura 15. Rolamento do destorcedor da Versão 2

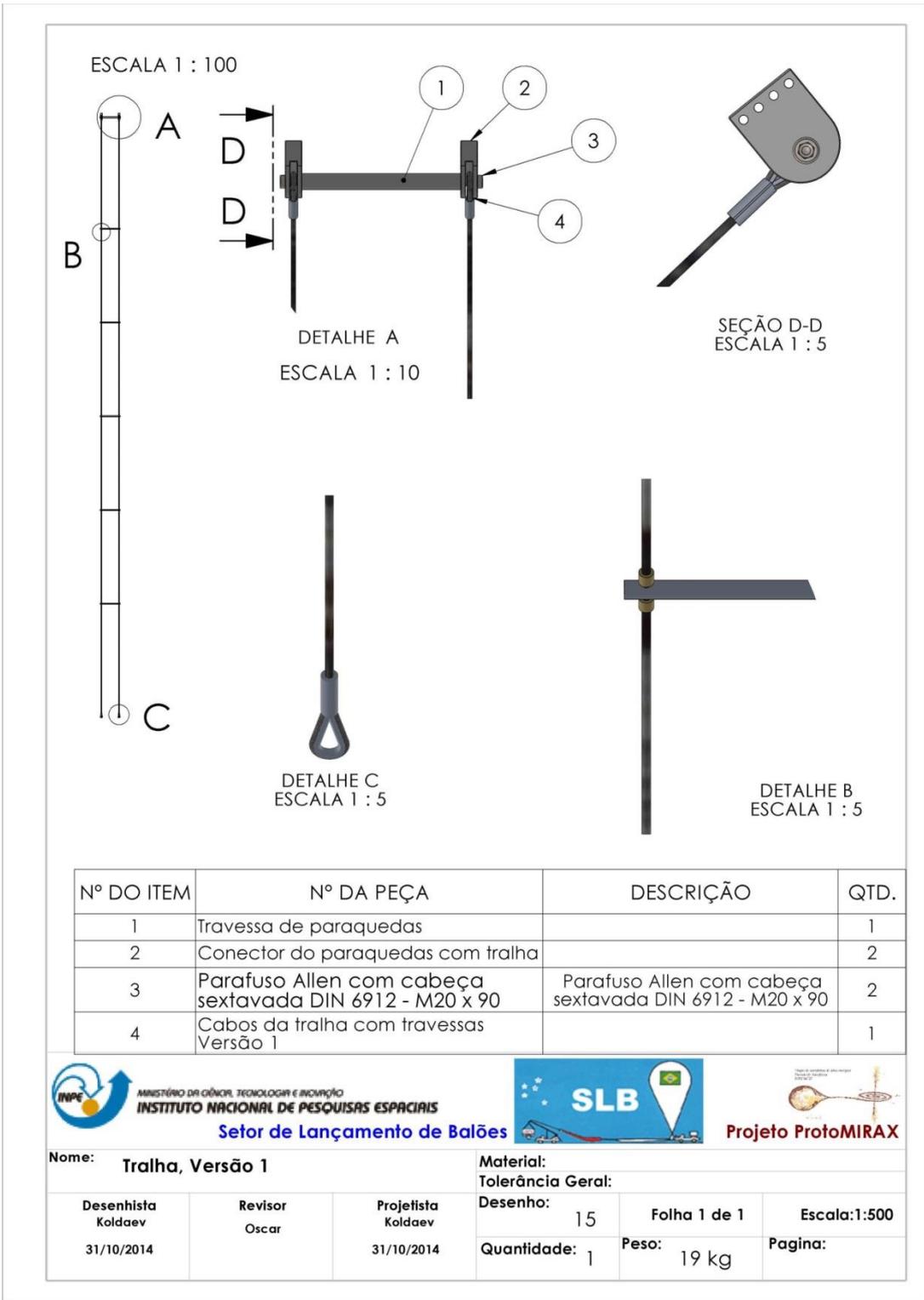


Figura 16. Interface de paraquedas com tralha

Carga do cabo vertical permitida para levantar: 2 x 1,17 toneladas



Figura 17. Cabo da tralha Versão 1

Carga do cabo vertical permitida para levantar: 1,17 toneladas



Figura 18. Cabo da tralha Versão 2

Carga do cabo vertical permitida para levantar: 1,17 toneladas

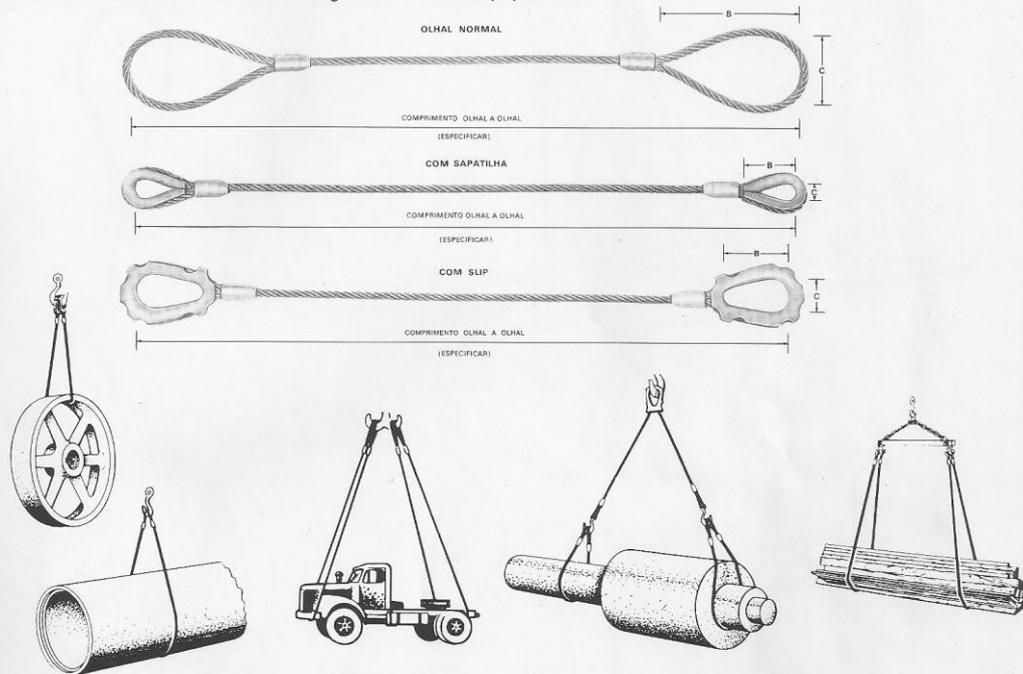


Figura 19. Cabo da gondola

Carga vertical do cabo permitida para levantar: 1,17 toneladas

COMCABO LAÇOS/TIPO S

TIPO S é um laço para fins gerais. É adaptável em guindastes, guinchos, pontes rolantes, talhas e pórticos em trações duplas ou diretas. Na elevação de cargas pesadas e descarga em geral nas indústrias, estaleiros, montagens industriais, usinas de açúcar, são alguns dos muitos tipos de materiais que podem ser eficientemente manipulados por este versátil laço. Abaixo apresentamos 3 tipos de olhal: **olhal normal, com sapatilha ou com Slip**. Verifique as dimensões dos olhais nas tabelas, e compare-as com a dimensão do gancho do seu equipamento.



FATOR DE SEGURANÇA 5:1 (já aplicado)

DIÂMETRO do CABO (Pole-gadas)	DIMENSÕES APROXIMADAS DO OLHAL (em mm)						CARGAS A SEREM LEVANTADAS (em quilos)					
							SIMPLES			EM ÂNGULO		
	NORMAL		COM SAPATILHA PESADA		COM SLIP		VERTICAL	CHOKER	VERTICAL DUPLO	30°	45°	60°
B	C	B	C	B	C	VERTICAL	CHOKER	VERTICAL DUPLO	30°	45°	60°	
1/4	100	50	41	22	104	54	525	390	1.050	910	740	525
5/16	130	65	47	27	104	54	815	610	1.630	1.415	1.155	815
3/8	160	80	54	28	104	54	1.170	875	2.340	2.030	1.655	1.170
1/2	210	105	70	38	111	58	2.060	1.545	4.120	3.580	2.920	2.060
5/8	270	135	90	44	168	87	3.200	2.400	6.400	5.565	4.535	3.200
3/4	320	160	105	51	168	87	4.580	3.435	9.160	7.965	6.495	4.580
7/8	380	190	123	57	181	95	6.190	4.640	12.380	10.765	8.790	6.190
1	430	215	135	63	181	95	8.030	6.020	16.060	13.965	11.390	8.030
1.1/4	540	270	155	73	213	111	12.420	9.315	24.840	21.600	17.615	12.420
1.1/2	650	325	185	89	241	127	17.700	13.275	35.400	30.780	25.106	17.700

Especificar o comprimento, o diâmetro do cabo e o Tipo de olhal. Verifique a parte de acessórios.
Ex.: Comcabo Laços tipo S com 4,00m de comprimento, \varnothing 5/8" com olhal normal.
Para dimensões diferentes dos olhais e outros diâmetros, queiram nos consultar.

PÁGINA 3

Figura 20. Características dos cabos da tralha e da gondola.

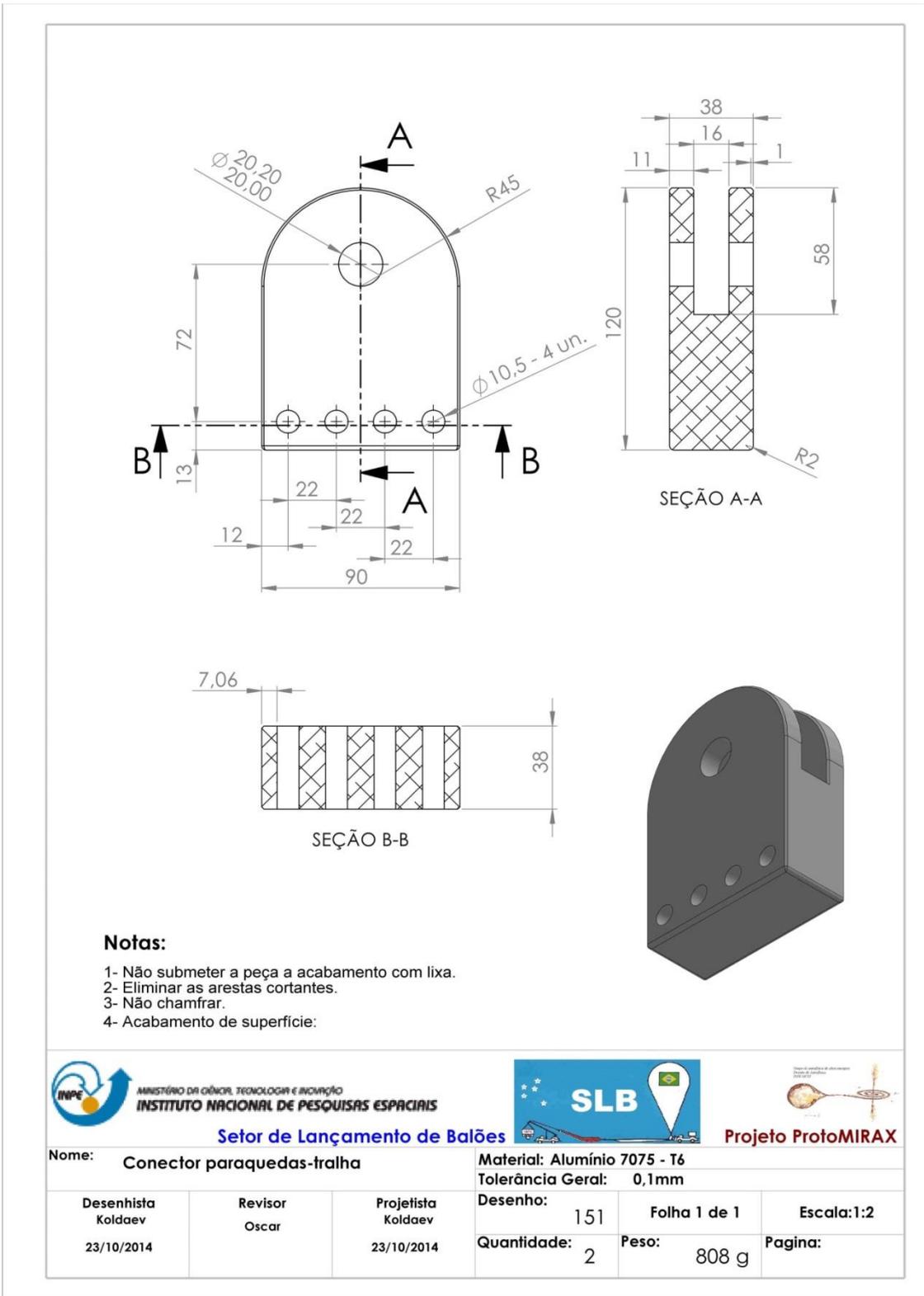


Figura 21. Interface de paraquedas com a tralha.

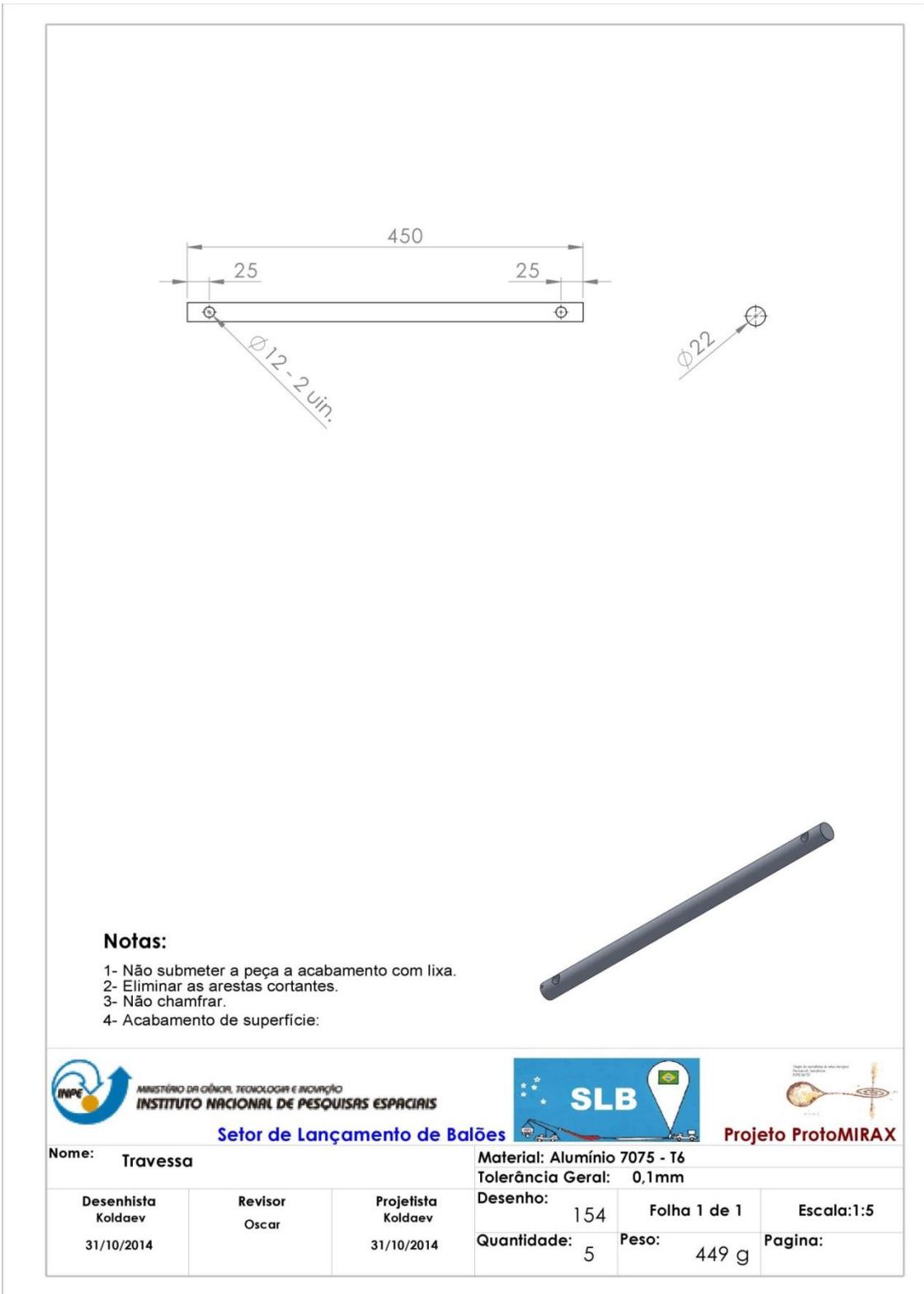


Figura 22. Travessa da tralha.

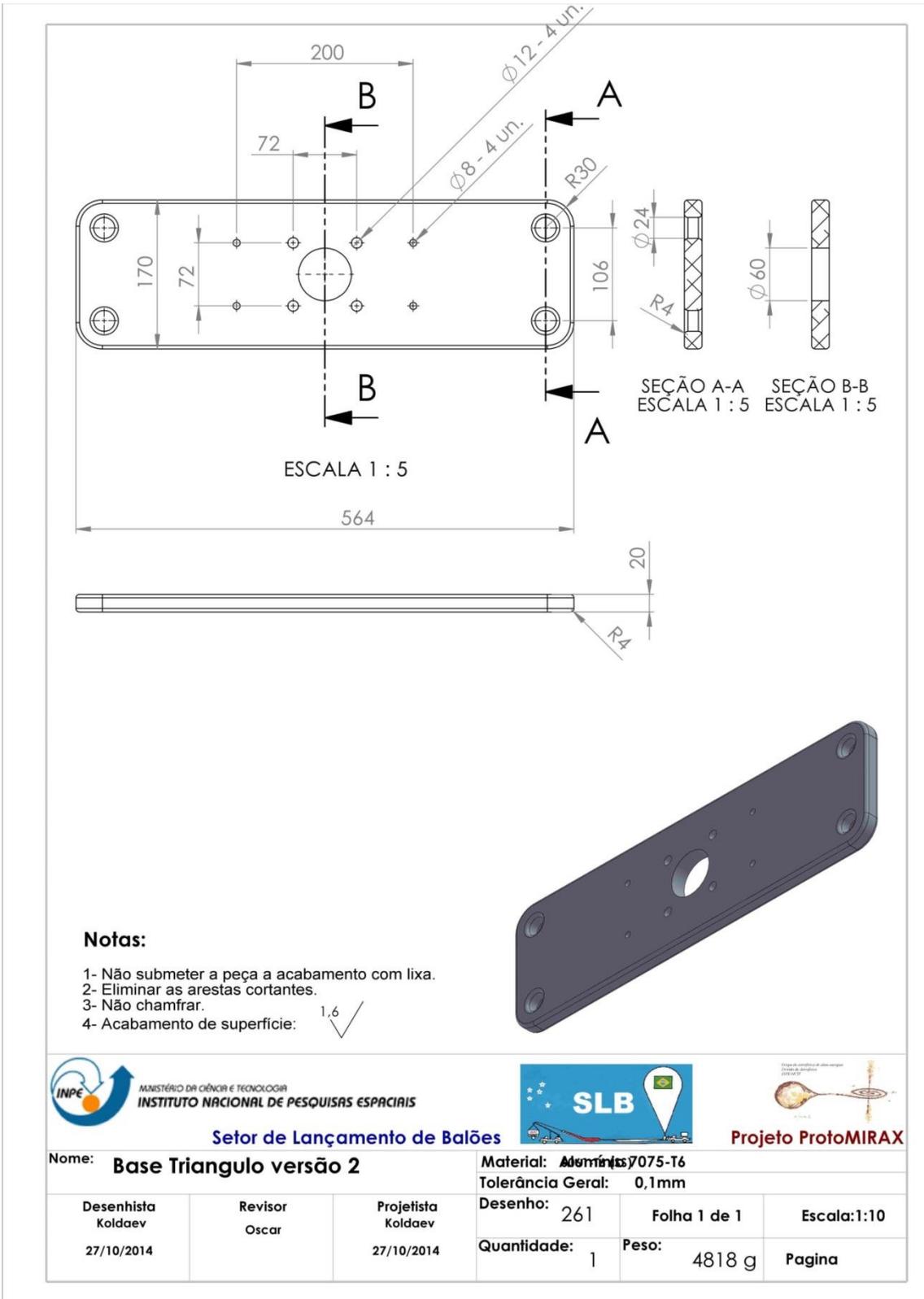
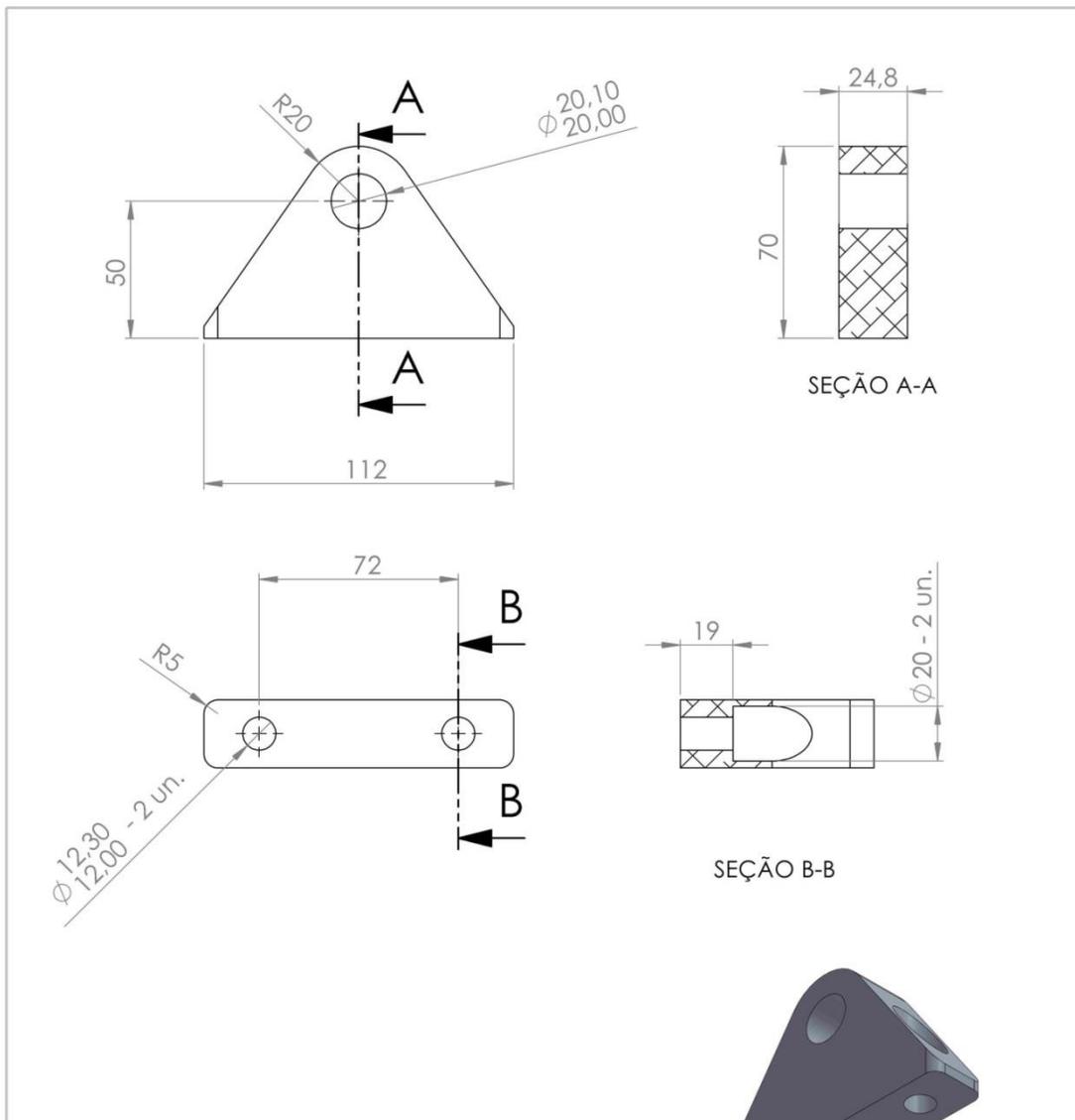
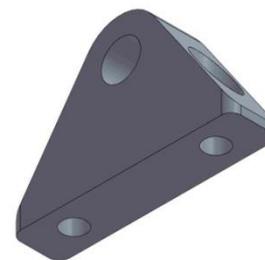


Figura 23. Base do triangulo.



Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.
- 4- Acabamento de superfície: $\sqrt{1,6}$



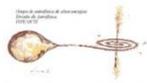
 MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS					
Setor de Lançamento de Balões			Projeto ProtoMIRAX		
Nome: Apoio			Material: Alumínio 7075 - T6 Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 27/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 27/10/2014	Desenho: 162	Folha 1 de 1	Escala: 1:2
			Quantidade: 2	Peso: 276 g	Página:

Figura 24. Apoio do triângulo.

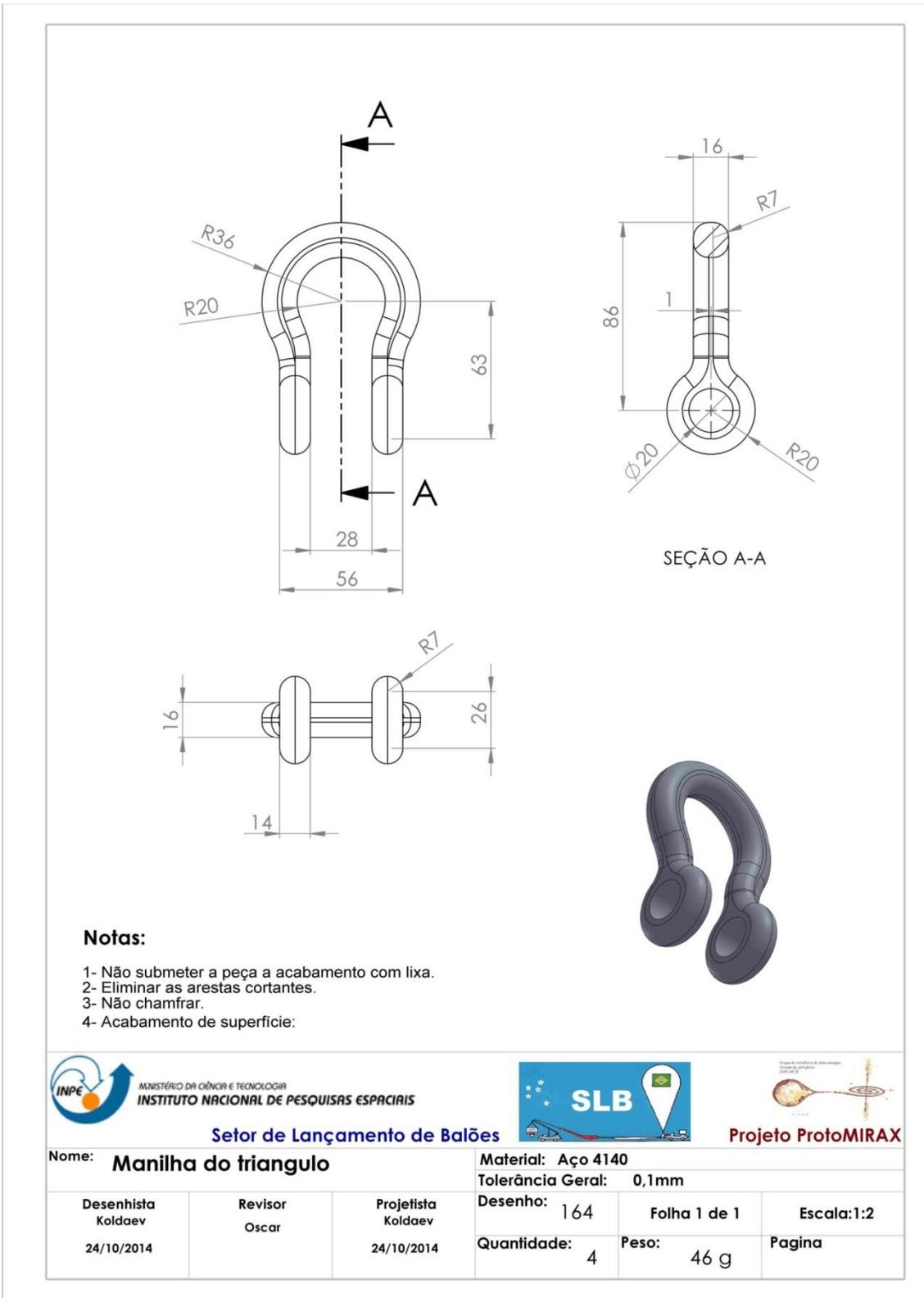
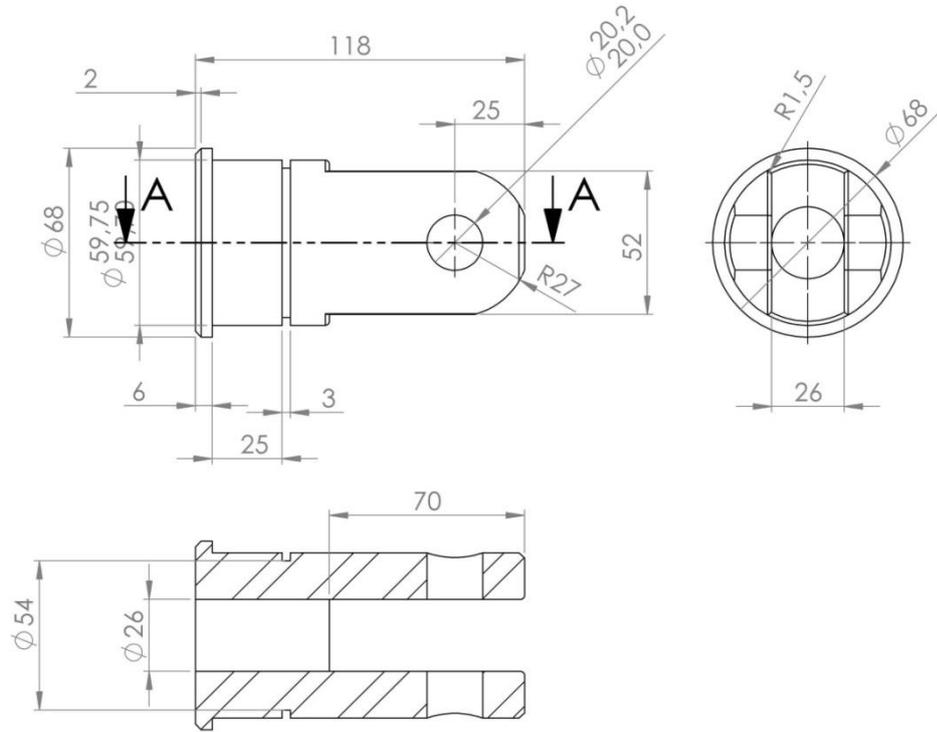


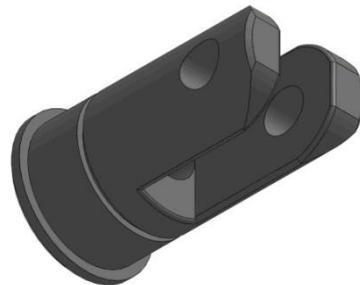
Figura 25. Manilha do triângulo.



SEÇÃO A-A

Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.
- 4- Acabamento de superfície:



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Setor de Lançamento de Balões



Projeto ProtoMIRAX

Nome: Bucha do triangulo rotativo			Material: Aço 4140		
			Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 24/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 24/10/2014	Desenho: 262	Folha 1 de 1	Escala:1:2
			Quantidade: 1	Peso: 1489 g	Pagina

Figura 26. Bucha do triangulo.

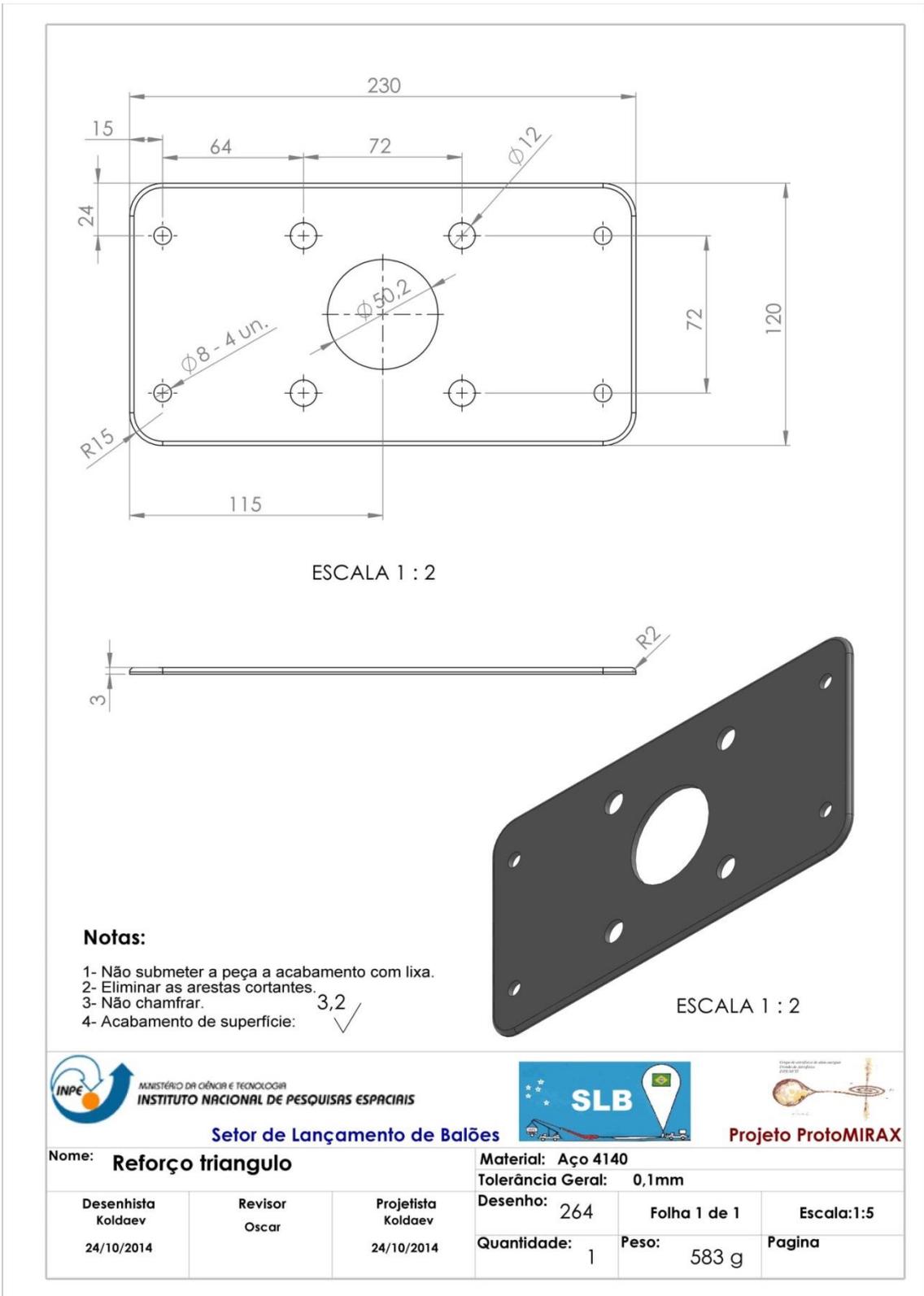
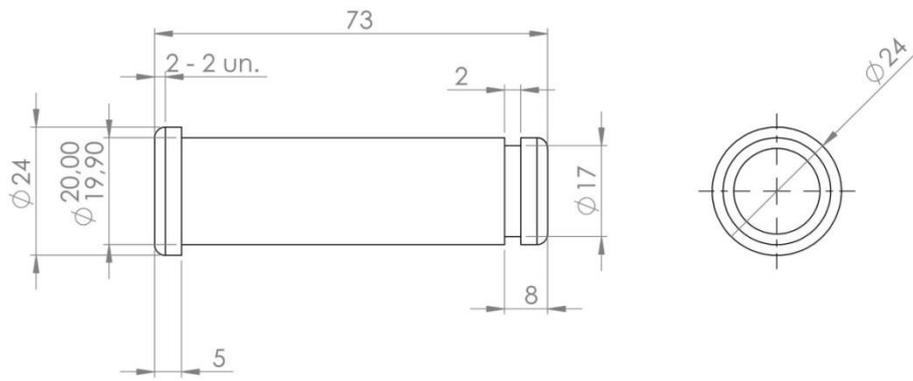
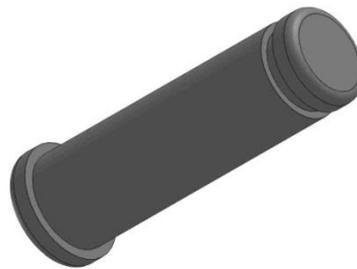


Figura 27. Reforço do triângulo.



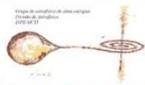
Notas:

- 1- Não submeter a peça a acabamento com lixa.
- 2- Eliminar as arestas cortantes.
- 3- Não chamfrar.
- 4- Acabamento de superfície:



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Setor de Lançamento de Balões



Projeto ProtoMIRAX

Nome: Eixo triangulo rotativo			Material: Aço 4140		
			Tolerância Geral: 0,1mm		
Desenhista Koldaev 24/10/2014	Revisor Oscar	Projetista Koldaev 24/10/2014	Desenho: 263	Folha 1 de 1	Escala:1:1
			Quantidade: 2	Peso: 146 g	Pagina

Figura 28. Eixo do triangulo.

4. SISTEMA DE LIGAÇÃO DO BALÃO A GONDOLA, VERSÃO 4

A versão 4 foi desenvolvida para reduzir a massa do conjunto Separador-destorcedor-interface e para aumentar a confiabilidade do sistema através da simplificação do conjunto e da sua manutenção. Os cortes do conjunto da Versão 4 estão ilustrados nas Figuras 29 e 30.

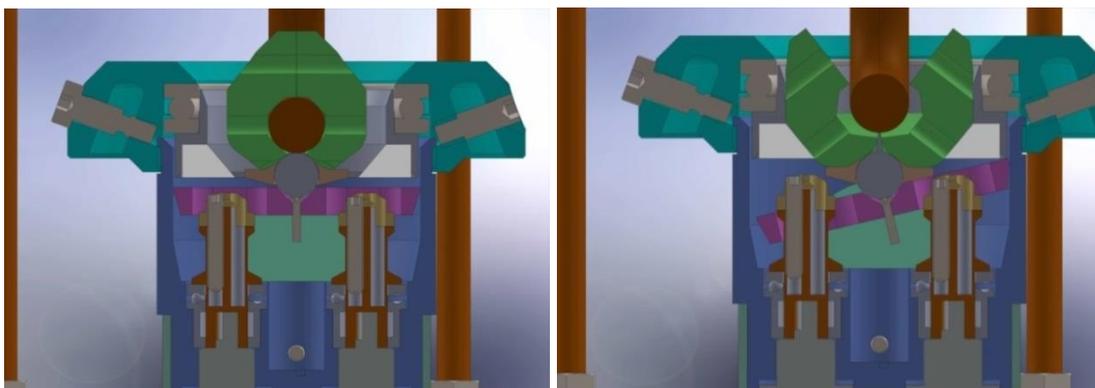


Figura 29. Cortes do separador da Versão 4 em posição fechado e aberto.

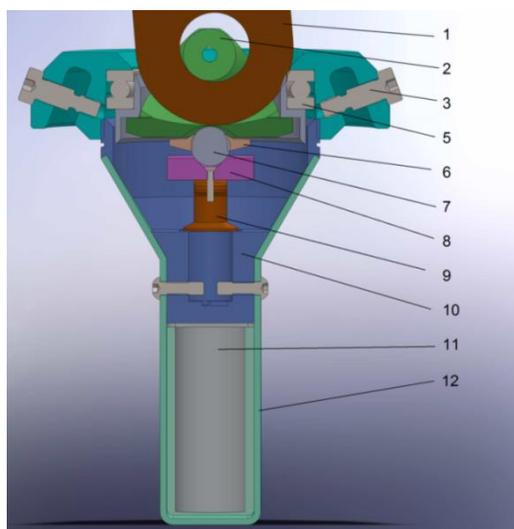


Figura 30. Detalhes do separador da Versão 4: 1- olhal do balão; 2- trava; 3- parafuso para cabo de paraquedas; 5- rolamento; 6- suporte da esfera; 7 - esfera 18mm; 8- alavanca; 9- chave; 10- suporte; 10- motor; 12- protetor.

Os desenhos do separador da Versão 4 são ilustrados nas Figuras 31 a 38, os desenhos do interface do paraquedas com a tralha são os mesmos do versão 2 e ilustrados nas Figuras 16 a 22 e os desenhos do interface do triangulo são os mesmos ilustrados nas Figuras 23 a 27.

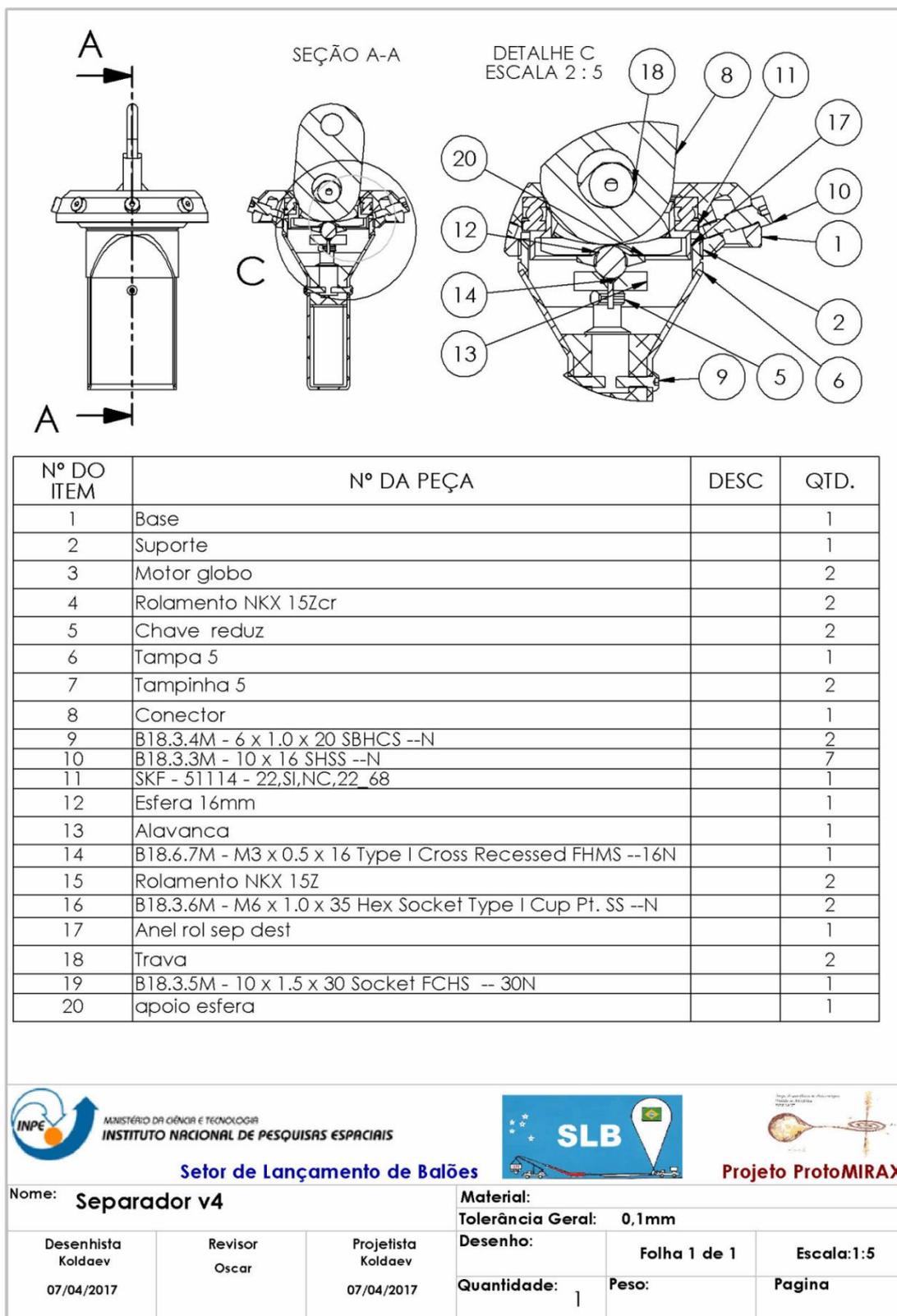


Figura 31. Desenho de integração do separador da Versão 4.

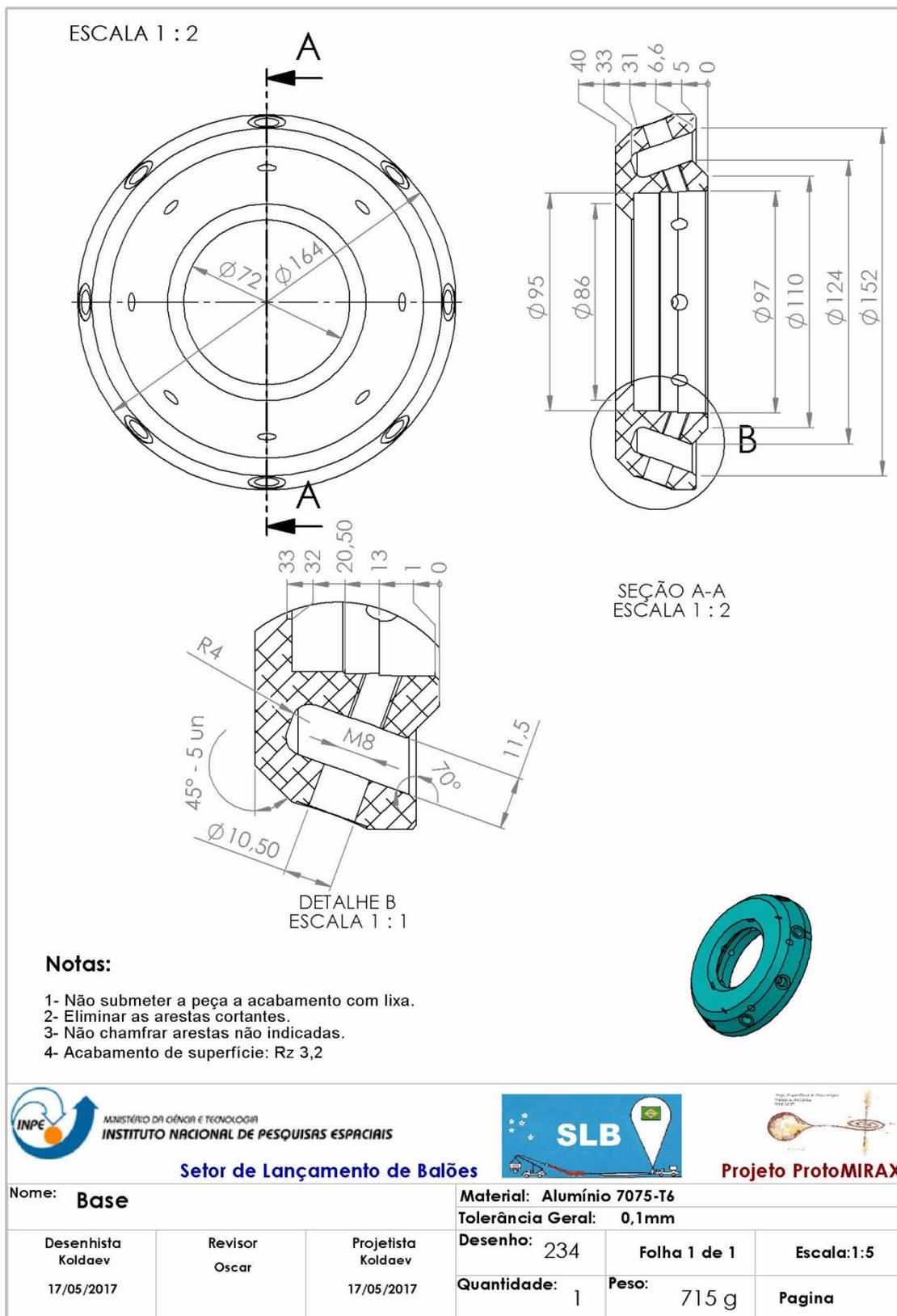


Figura 32. Desenho da base do separador da Versão 4.

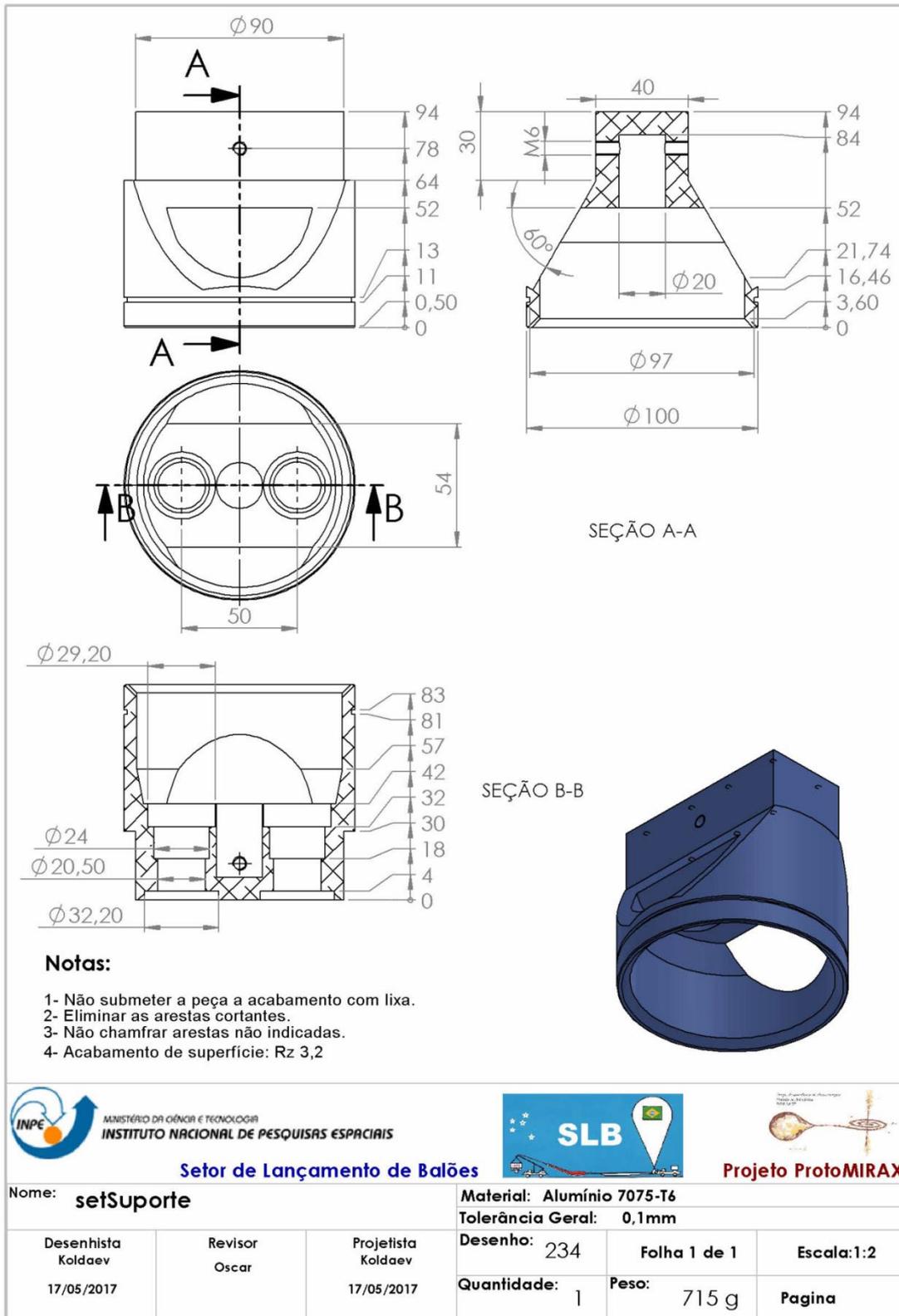


Figura 33. Desenho do suporte do separador da Versão 4.

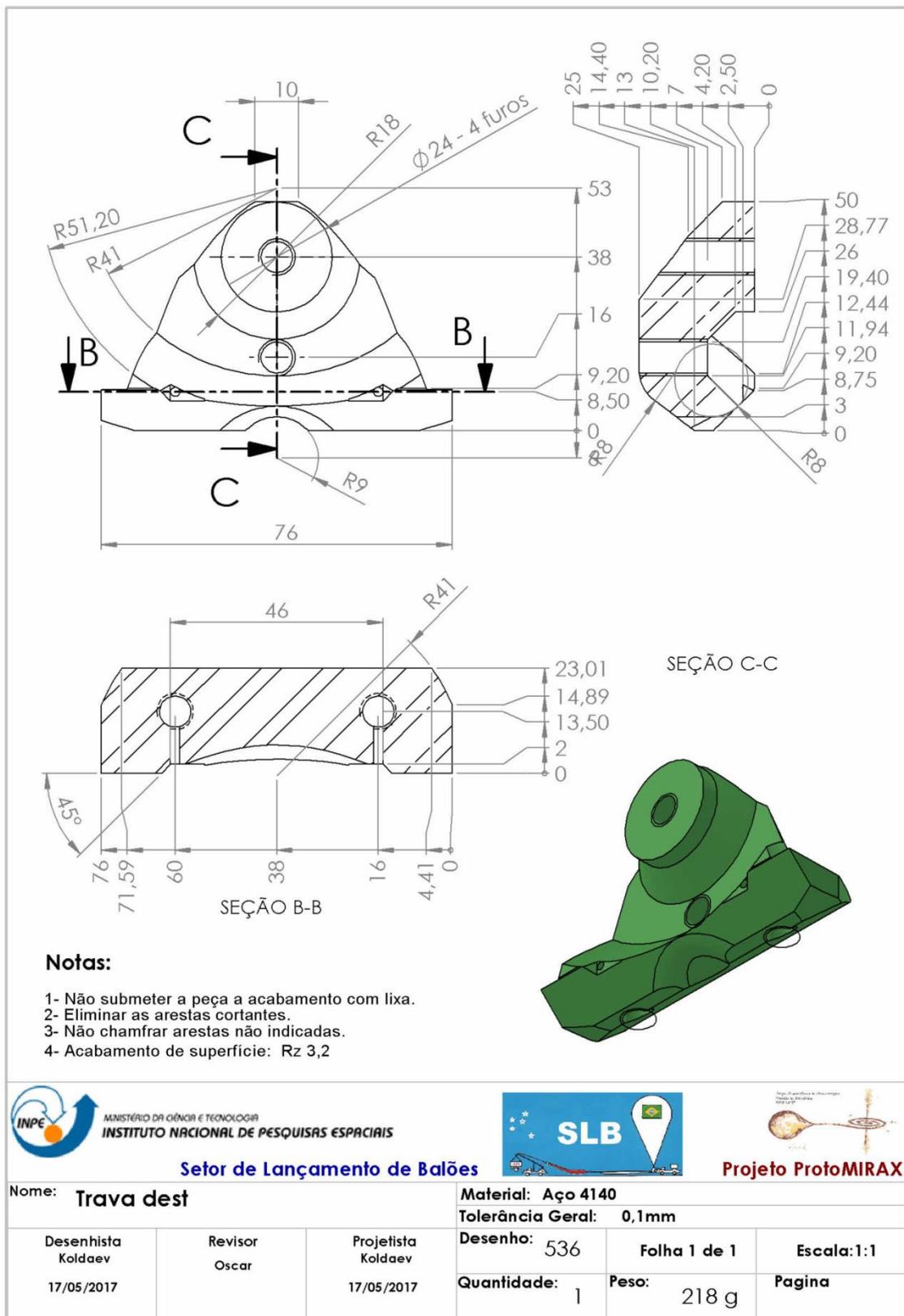


Figura 34. Desenho da trava do separador da Versão 4.

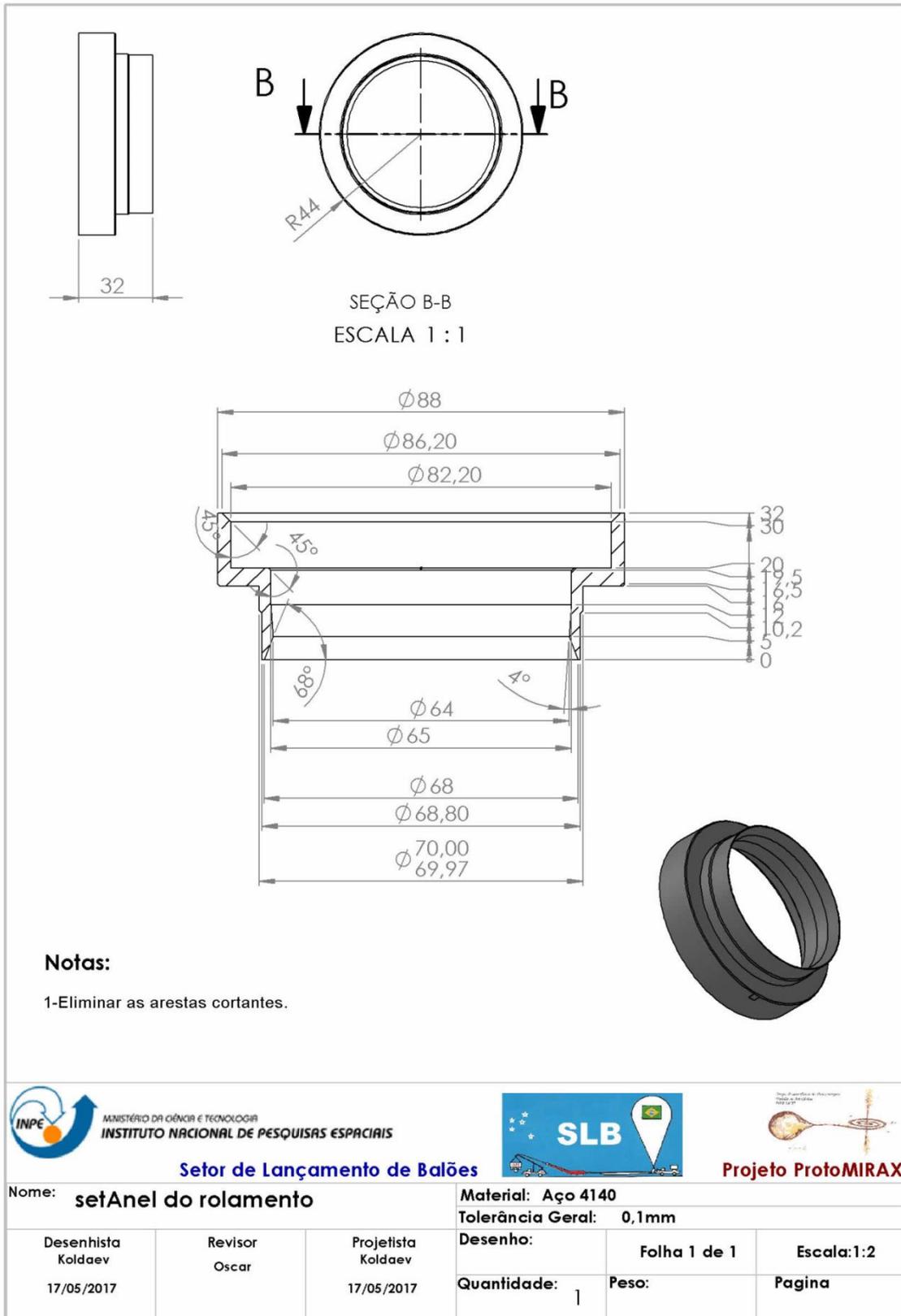


Figura 35. Desenho do anel do separador da Versão 4.

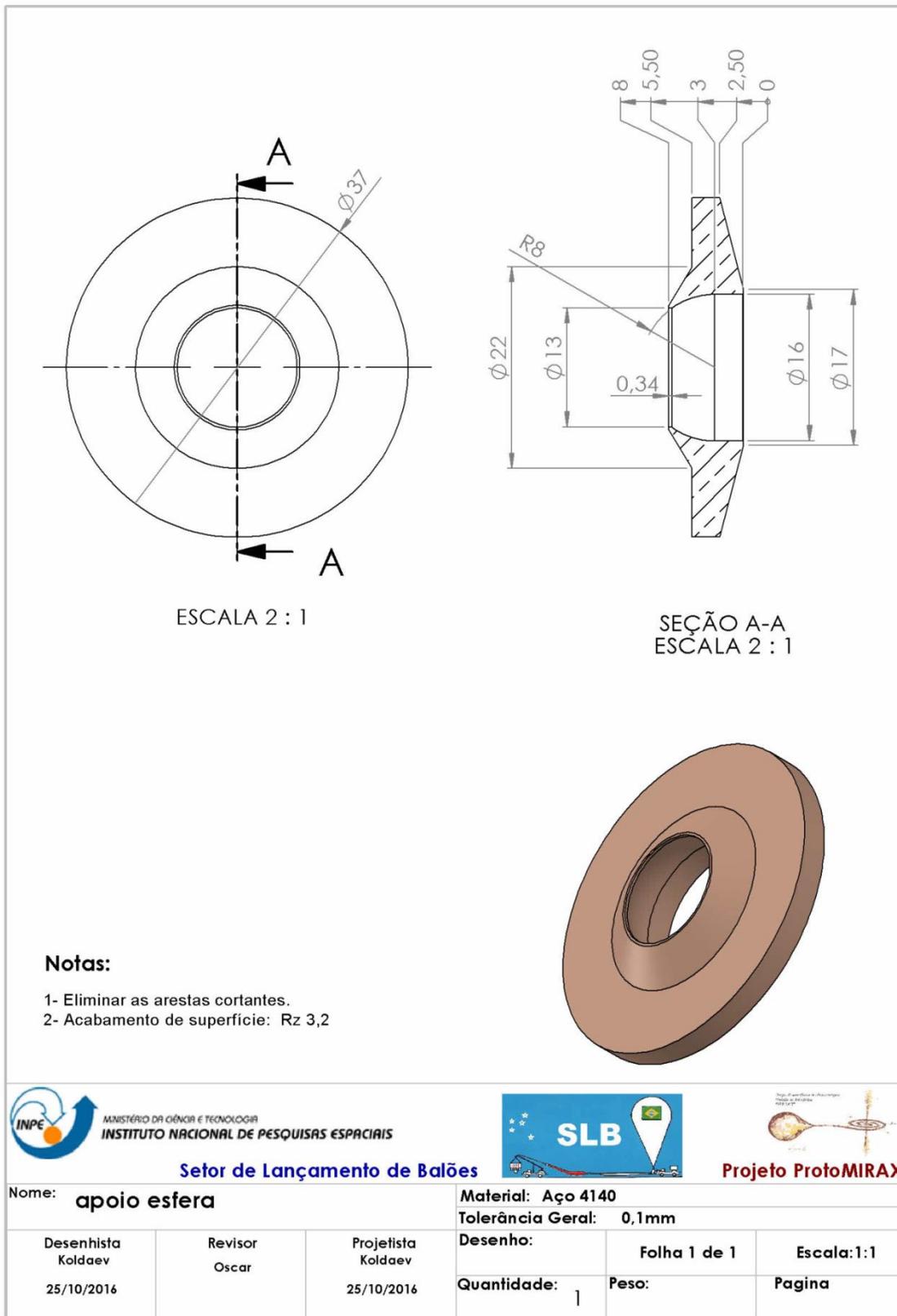


Figura 36. Desenho do apoio da esfera do separador da Versão 4.

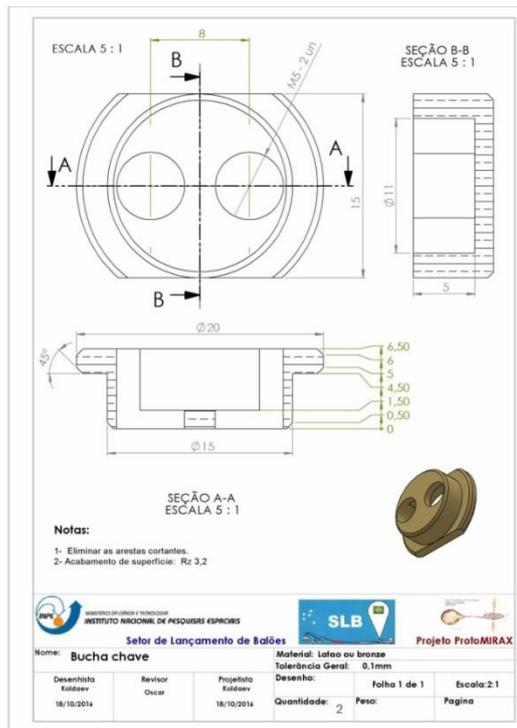


Figura 37. Desenho da bucha da chave do separador da Versão 4.

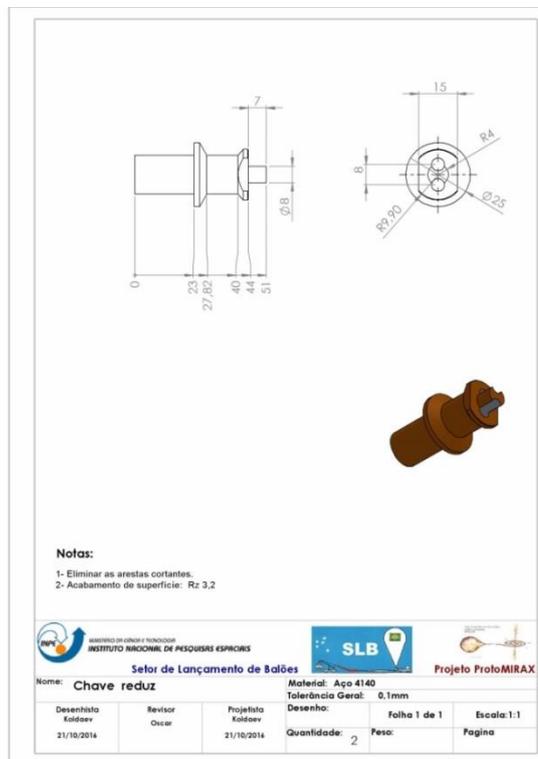
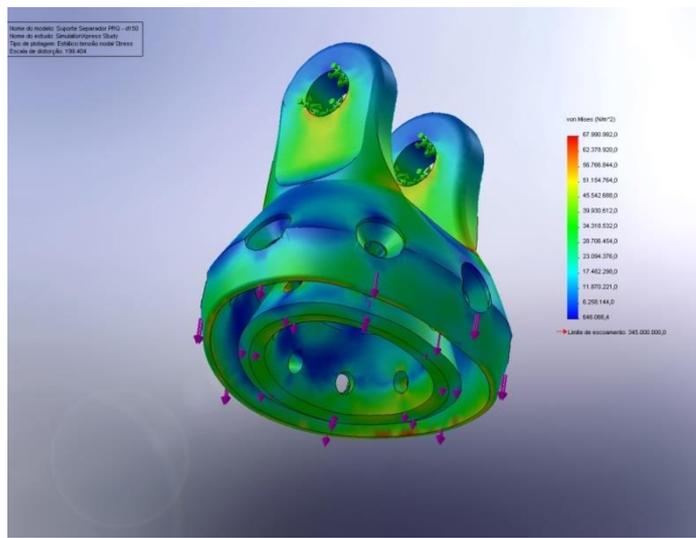


Figura 38. Desenho da chave do separador da Versão 4.

5. ANÁLISE DE RESISTÊNCIA DAS PEÇAS.

Durante o dimensionamento das peças do sistema foram calculadas as cargas no sistema durante voo baseando nos métodos desenvolvidos, /4-10/. As tensões máximas no sistema de voo foram calculadas usando Solidworks e aplicando a carga de 8000 kgf. Nas Figuras 39 a 42 são apresentados como exemplos as imagens das tensões em algumas peças do sistema.



Carga aplicada é de 9000 kgf,
Material - Aço 4130 normalizado

Figura 39. Imagem das tensões no interface do separador Versão 2.

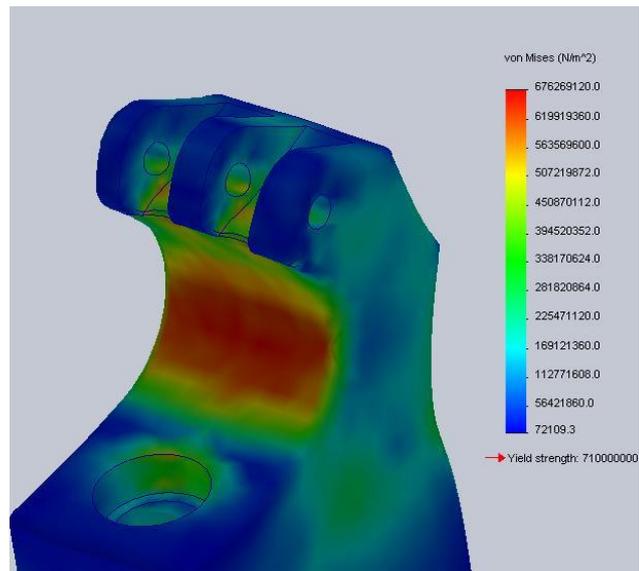


Figura 40. Imagem das tensões na base do separador Versão 1.

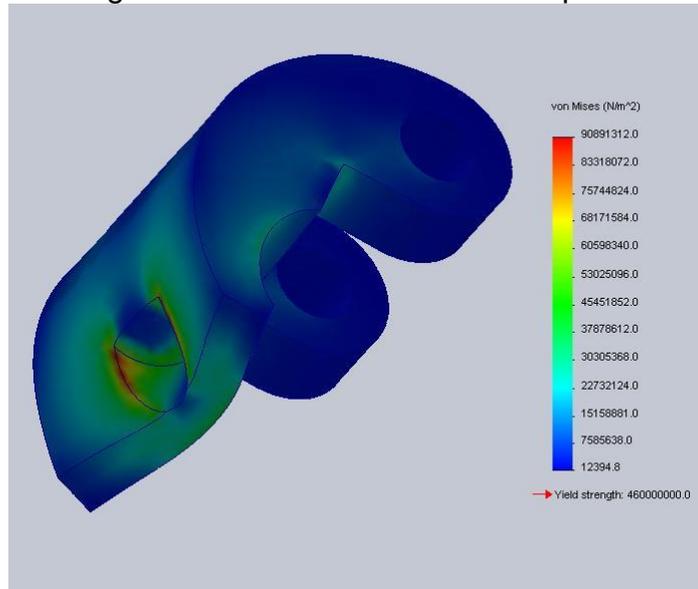


Figura 41. Imagem das tensões na trava do separador Versão 1.

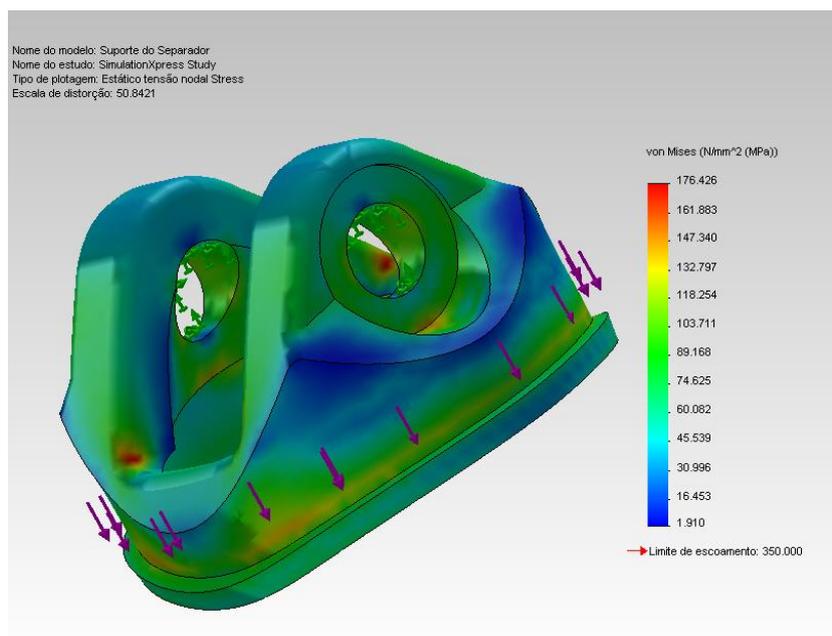


Figura 42. Imagem das tensões no eixo do destorcedor da Versão 1.

Durante análise da resistência foi comprovado que as tenções máximas com carga aplicada de 8000 kgf são menores do que a permitida.

6. TESTES DOS SEPARADORES E DAS PARTES DO SISTEMA.

Durante o desenvolvimento de sistemas mecânicos para lançamento de balões foram realizados os seguintes testes das partes do sistema:

1. Teste de funcionamento dos separadores no dispositivo com molas aplicando a carga nominal de 800 kgf;
2. Teste de funcionamento dos separadores em câmara climática do LIT com pressão ambiental de 2 mbar e temperaturas de -70°C a 30°C aplicando a carga nominal de 800 kgf;
3. Teste de resistência de todo o conjunto aplicando a carga de 2200 kgf usando caminhão.
4. Teste de resistência dos separadores com destorcedores e interfaces na prensa SKYPE aplicando a carga de 6000 kgf até 8000 kgf.

Nas Figuras 43-46 são apresentados os separadores e algumas partes do sistema de voo durante ensaios



Figura 43. Teste de funcionamento dos separadores da Versão 2 no dispositivo de molas aplicando a carga nominal de 800 kgf.



Figura 44. Ensaio de funcionalidade dos separadores da Versão 2 e 4 em câmara climática do LIT em condições de 42 km e com carga nominal de 800 kgf.



Figura 45. Teste de resistência de 2 conjuntos do sistema de voo com separadores da versão 2 aplicando a carga de 2200 kgf usando caminhão.



Figura 46. Teste de resistência do separador com destorcedor e com interface da Versão 4 na prensa com carga máxima de 6400 kgf.

Durante ensaios dos separadores com destorcedores e interfaces das Versões 2 e 4 no período de fevereiro 2016 até maio de 2017 foi comprovada a funcionalidade deles com carga 800 kg no dispositivo de molas (11 ensaios) e em câmara climática (3 ensaios) e a resistência mecânica na prensa da Versão 2 com carga de 8000 kgf e da Versão 2 com carga de 6400 kgf.

7. CONCLUSÕES GERAIS

1. Os sistemas mecânicos de voo para lançamento dos balões para o experimento "protoMIRAX" foram projetados, fabricados e testados de acordo com os requisitos para balões estratosféricos pelas normas internacionais.
2. A análise de resistência do sistema de voo e das peças principais de ligação do balão a gondola mostrou que as tensões máximas são menores do que a tensão permitida com a carga aplicada de 8000 kgf.
3. Os testes realizados dos sistemas mecânicos para lançamento dos balões do experimento "protoMIRAX" das versões 2 e 4 comprovaram o funcionamento da separação com cargas nominais em condições de voo nas alturas de 42 km e a resistência mecânica com cargas máximas possíveis.

REFERENCIAS

1- Ballon Flight Application Procedures - User handbook, OF-600-10-H ORIGINAL RELEASE, MAY 1, 2006, NASA BALLOON PROGRAM

2- STRUCTURAL REQUIREMENTS AND RECOMMENDATIONS FOR BALLOON GONDOLA DESIGN, OM-220-10-H REV. A, APRIL 23, 2013, NASA BALLOON PROGRAM

3 - SCIENTIFIC BALLOONING - Technology and Applications of Exploration Balloons Floating in the Stratosphere and the Atmospheres of Other Planets, N. Yajima; N. Izutsu; T. Imamura; T. Abe, Springer Science+Business Media, 2009

4 - RELATÓRIO INTERNO - SUBSISTEMA DE LIGAÇÃO DO BALÃO À GÔNDOLA DO EXPERIMENTO MASCO, INPE / SLB, 2004.

5 - Bogdanov, B., Larev, A., Koldaev, V., Ivanov, K., "Improvement of Decelerate and Stabilization Systems" ("Sovershenstvovaniye Sistem Tormojeniya i Stabilizatsiy"), Scientific Magazine "Problemy Specialnogo Mashinostroeniya" 1st series, issue 5(132), Tula, Russia, 1985.

6 - Koldaev, V., Moraes, P. Jr., "Recoverable Vehicle Dynamics in Sub-orbital Flight", artigo aceito para III International Aerospace Congress , Moscou, Russia, Ago 2000.

7 - Koldaev, V., Azevedo J., "Numerical Solution of the Aeroelastic Problem in Unsteady Motion of Parachute Systems", XXII Congresso ICAS, Harrogate, United Kingdom, Ago 2000.

8 - Koldaev, V., Moraes, P. Jr., "Recovery Systems: Design and Testing. An Intoductory Course, Apostila do curso no CTA-INPE, CTA/IAE, São José dos Campos, 1998.

9 - Koldaev, V., Moraes, P. Jr., "Design of Impact Attenuators for Ground Recovery of Small Space Capsules", V Congresso Brasileiro Norte-Nordeste de Engenharia Mecânica, Fortaleza - CE, 1998.

10 - Koldaev, V., Moraes, P. Jr., "Recovery Systems: Optimization and Integral Design. An Intoductory Course", Apostila do curso no CTA-INPE, CTA/IAE, São José dos Campos-SP, 1999.