



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



**PROJETO E DESENVOLVIMENTO DE DISPOSITIVO PARA
CALIBRAÇÃO DE CALIBRADOR DE TORQUÍMETROS
UTILIZADOS NA INTEGRAÇÃO DE SATÉLITES**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Marcelo Vinícius Bianco de Castro (UNIP, Bolsista PIBIC/CNPq).
E-mail: marcelo.castro@lit.inpe.br

Dr. Ricardo Sutério (LIT/INPE, Orientador).
E-mail: suterio@lit.inpe.br

COLABORADORES

Angela Akemi Tatekawa Silva (LIT/INPE)
Walter Kenkiti Takahashi (DMF/INPE)

Junho de 2016

SUMÁRIO

1. RESUMO DO PLANO INICIAL	04
2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS	05
3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS	06
3.1. Análise do Dispositivo “de 500 mm” pelo Método dos Elementos Finitos	09
3.1.1 Dimensões	09
3.1.2 Materiais Considerados	12
3.1.3 Modelo em Elementos Finitos.....	12
3.1.4 Resultados de Análise.....	13
4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES	16
4.1. Conclusão.....	16
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

FIGURAS

Figura 01 – Demonstração do sistema funcionando.....	05
Figura 02 – Disco 500 mm	07
Figura 03 – Disco 300 mm	07
Figura 04 – Disco 200 mm	08
Figura 05 – Dispositivo com roldana.	08
Figura 06 – Vista em perspectiva do dispositivo com roldana funcionando.....	09
Figura 06 – Disco em Liga de Alumínio	09
Figura 07 – Interface com o Equipamento em Aço Liga	10
Figura 08 – Pino de Travamento do Disco em Aço Liga	10
Figura 09 – Vista Traseira da Montagem em Perspectiva.....	11
Figura 10– Vista Frontal da Montagem em Perspectiva.	11
Figura 11 – Modelo em Elementos Finitos da Montagem Torque I	12
Figura 12 – Modelo sem a Visualização dos Elementos Finitos – Condições de Contorno e Carregamento	13
Figura 13 – Tensão de Von Mises Máxima no disco = 23,28Mpa.....	14
Figura 14 – Tensão de Von Mises Máxima na Interface = 87,4Mpa.	15

Tabelas

Tabela 01 - Tensões de Cisalhamento Desenvolvidos no Pino.....	15
Tabela 02 – Margens de Segurança dos Componentes do Dispositivo.....	15

1. RESUMO DO PLANO INICIAL

O Laboratório de Metrologia Mecânica do LIT/INPE é responsável pela calibração de equipamentos mecânicos nas áreas de Força e Torque, Massa e Dimensional e busca constantemente aprimorar seu padrão de excelência quanto às atividades de montagem, integração e testes de satélites, de modo a atender a crescente demanda por serviços especializados decorrentes dos programas espaciais e também das indústrias. Para atender a essa exigência foi proposto este trabalho de iniciação científica na área de Força e Torque.

O trabalho é dividido em fases, a primeira delas é adquirir embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade através de estudo de bibliografias pertinentes tais como normas técnicas, livros textos etc. verificando sua aplicabilidade às atividades do Laboratório. A segunda fase consiste em realizar o trabalho de pesquisa e desenvolvimento de dispositivo para calibração de calibrador de torquímetro, utilizando-se da técnica de comparação a pesos padrões de referência. A terceira fase será elaborar os desenhos de fabricação e fazer os devidos cálculos da estrutura do dispositivo, acompanhar a fabricação e montagem do dispositivo e validar tanto dispositivo quanto método de calibração. A quarta fase será elaborar procedimento de calibração e planilhas de cálculo de incertezas. E a última fase será treinar os técnicos do Laboratório de Metrologia Mecânica e também divulgar os conhecimentos adquiridos através de publicações técnicas/acadêmicas.

2. RESUMO DAS ETAPAS REALIZADAS

Primeiramente adquiriu-se embasamento teórico dos tópicos de metrologia, normalização e qualidade, através de estudo de bibliografias pertinentes tais como normas técnicas, livros textos etc., verificando sua aplicabilidade às atividades do Laboratório. Participou-se da elaboração de procedimentos e relatórios técnicos de ensaios para sedimentar os fundamentos teóricos na área de atuação do Laboratório. Realizou-se o trabalho de pesquisa e desenvolvimento de dispositivo para calibração de calibrador de torquímetro, utilizando-se da técnica de comparação a pesos padrões de referência.

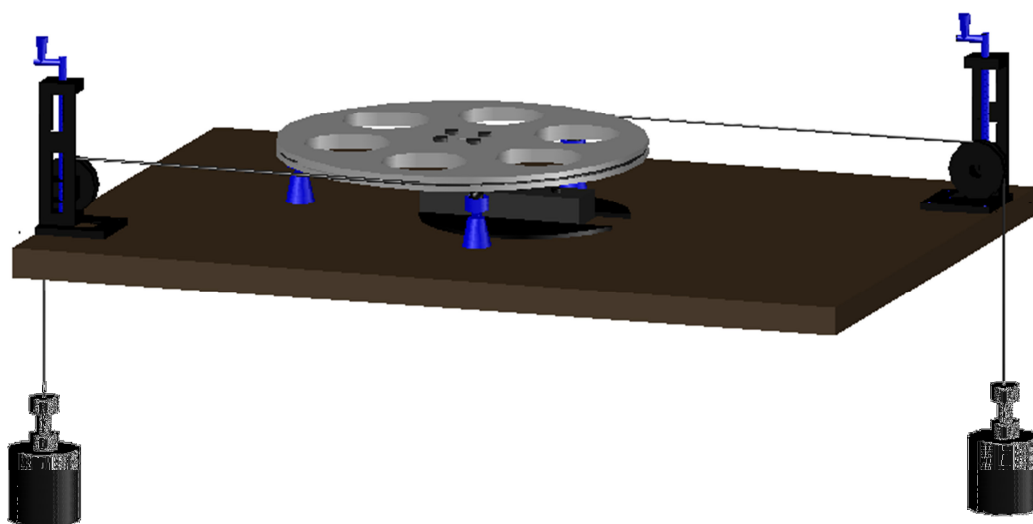


Figura 01 – Demonstração do sistema funcionando.

3. DETALHAMENTO DOS PROCESSOS REALIZADOS

Inicialmente estudei a norma técnica que descreve o método de calibração de dispositivos para medição de torque estático, e a norma de torquímetros manuais que descreve os requisitos e métodos de ensaio para verificação da conformidade do projeto, da conformidade da qualidade e procedimento de calibração e recalibração, entre outras e livros. E com isso consolidei os conhecimentos sobre o projeto que me foi proposto.

Logo em seguida pesquisei os métodos utilizados na calibração de calibrador de torquímetros por empresas e parceiras técnicas do INPE que já realizam este serviço, para adquirir parâmetros de como deveria ser o dispositivo utilizado na calibração.

Após estudos definiu-se o princípio de funcionamento do dispositivo: aplicar pesos em cabos de aço conectados a anéis e estes por sua vez conectados ao calibrador de torquímetros, e ao girarem geram o torque requerido.

Ficou definido que o dispositivo seria fabricado pelo INPE, e em função das limitações do processo de fabricação e em conjunto com as especificações a serem atendidas no projeto, chegou-se na configuração de 03 anéis sendo os diâmetros de 510 mm, 310 mm e 210 mm para calibrar dispositivos na faixa de 0,15 N.m a 340 N.m. Os dispositivos terão furos para alívio de peso e canais para fixação de cabo de aço.

Logo em seguida comecei os desenhos de fabricação conforme demonstrado nas figuras a seguir:

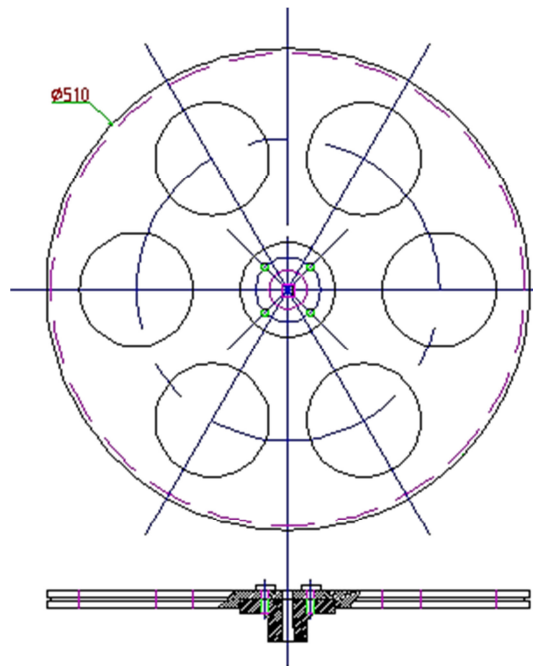


Figura 02 – Disco 510 mm

O dispositivo acima será utilizado para calibrar a faixa 100N.m até 340N.m

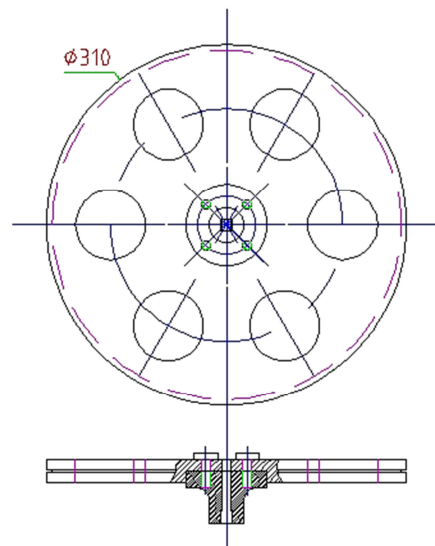


Figura 03 – Disco 310 mm

O dispositivo acima será utilizado para calibrar a faixa 30N.m até 100N.m.

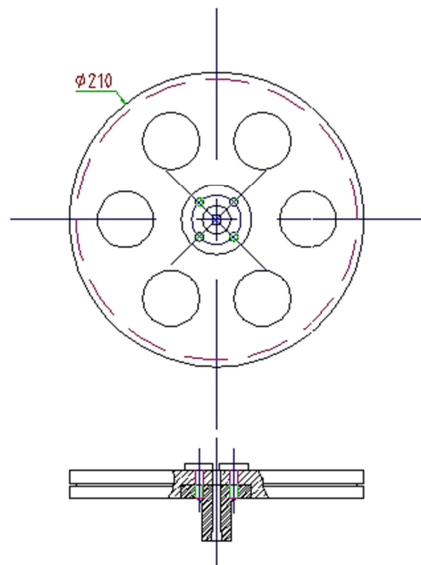


Figura 04 – Disco 210 mm

O dispositivo acima será utilizado para calibrar a faixa 0,15N.m até 30N.m.

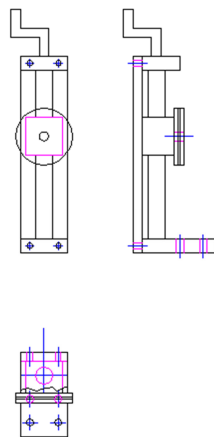


Figura 05 – Dispositivo com roldana.

Este dispositivo e essencial para utilizar os discos na horizontal, pois com ele será possível aplicar as massas na vertical.

Com os desenhos definidos pode-se fazer os cálculos dos esforços no dispositivo, que serão demonstrados a seguir:

3.1 Análise do Dispositivo “Torque I” (Disco de diâmetro de 500 mm) pelo Método dos Elementos Finitos.

Foi escolhido o dispositivo de diâmetro 500 mm para o desenvolvimento dos cálculos devido a este sofrer os maiores esforços de torque e cisalhamento.

3.1.1 Dimensões

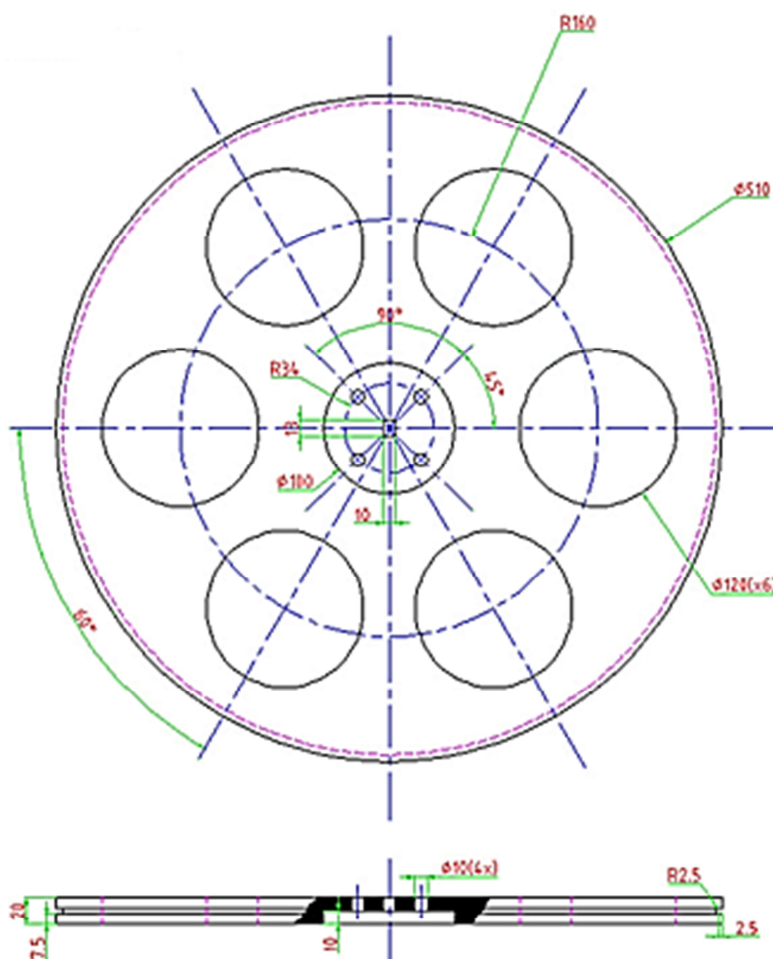


Figura 06 – Disco em Liga de Alumínio

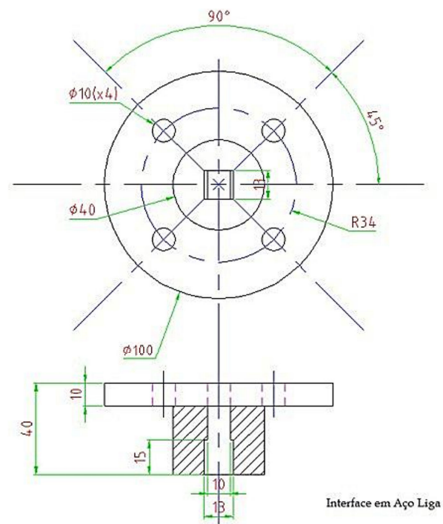


Figura 07 – Interface com o Equipamento em Aço Liga

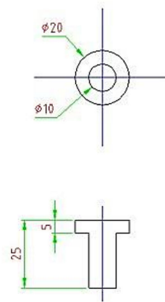


Figura 08 – Pino de Travamento do Disco em Aço Liga

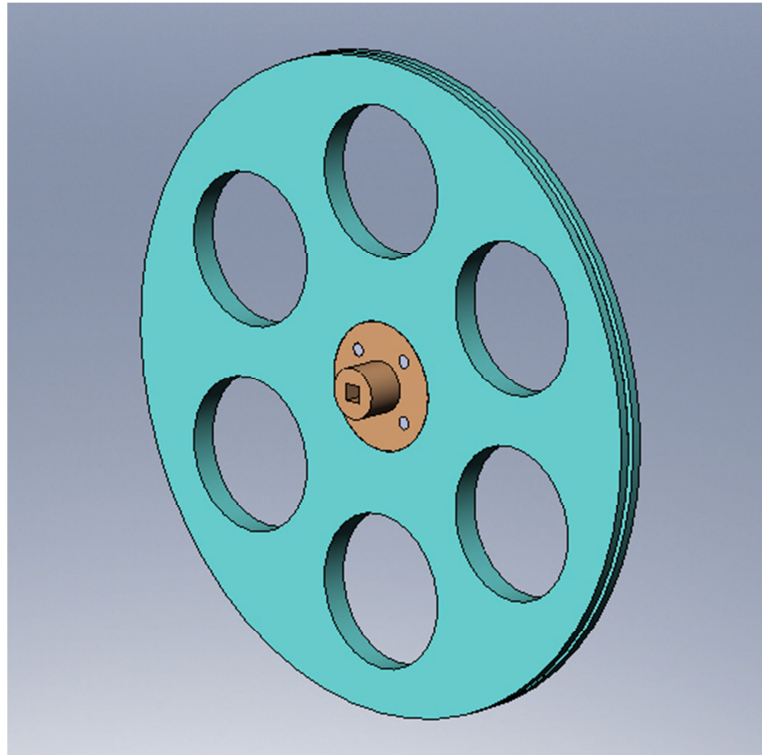


Figura 09 – Vista Traseira da Montagem em Perspectiva

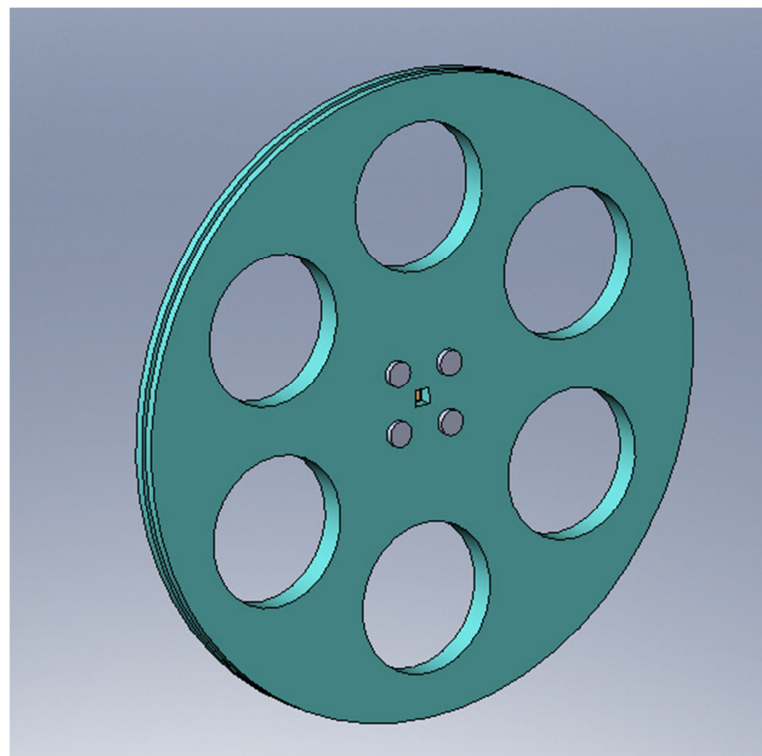


Figura 10 – Vista Frontal da Montagem em Perspectiva

3.1.2 Materiais Considerados

Disco: Liga de Al 6061-T651

Módulo de Elasticidade (E) = 67983 MPa

Coefficiente de Poisson (ν) = 0,33

Resistência ao Escoamento (Mpa) = 240Mpa

Interface com o Equipamento: Aço Liga – 4130 T&R 593oC

Módulo de Elasticidade (E) = 210000Mpa

Coefficiente de Poisson (ν) = 0,3

Resistência ao Escoamento (Mpa) = 800Mpa

Resistência ao Cisalhamento (Mpa) = 670Mpa

Pinos = Interface com o Equipamento.

3.1.3 Modelo em Elementos Finitos

O disco foi simplificado para efeito de análise, não incluindo a ranhura central periférica. Tanto o disco como a interface foram modelados com elementos sólidos, enquanto que os pinos foram modelados com elementos de viga.

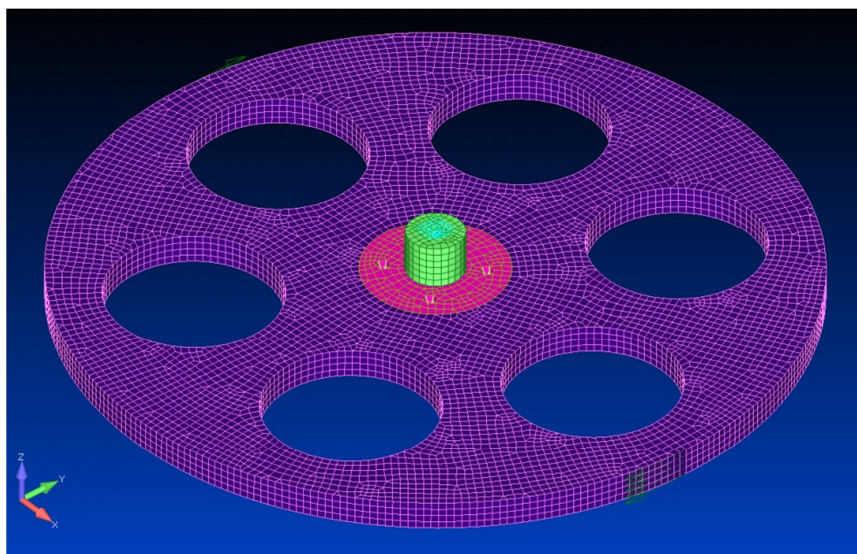


Figura 11 – Modelo em Elementos Finitos da Montagem Torque I

O conjunto foi considerado simplesmente apoiado pelos nós das faces do rasgo quadrado da interface com o equipamento.

O torque de 340N.m foi aplicado como dois conjuntos de forças tangencias aplicadas em nós diametralmente opostos totalizando em cada lado 680N.

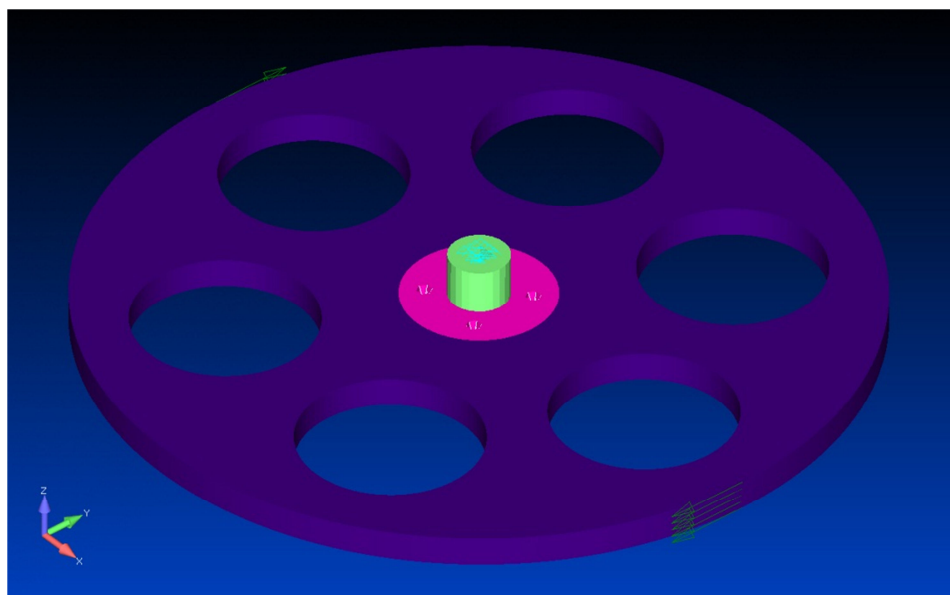


Figura 12 – Modelo sem a Visualização dos Elementos Finitos – Condições de Contorno e Carregamento.

3.1.4 Resultados de Análise

O disco e a interface foram verificados pela determinação e comparação da tensão de Von Mises com os valores admissíveis em escoamento dos materiais de construção usados.

Os pinos foram verificados através da determinação das tensões de cisalhamento desenvolvidas que são confrontadas com o admissível em cisalhamento do material.

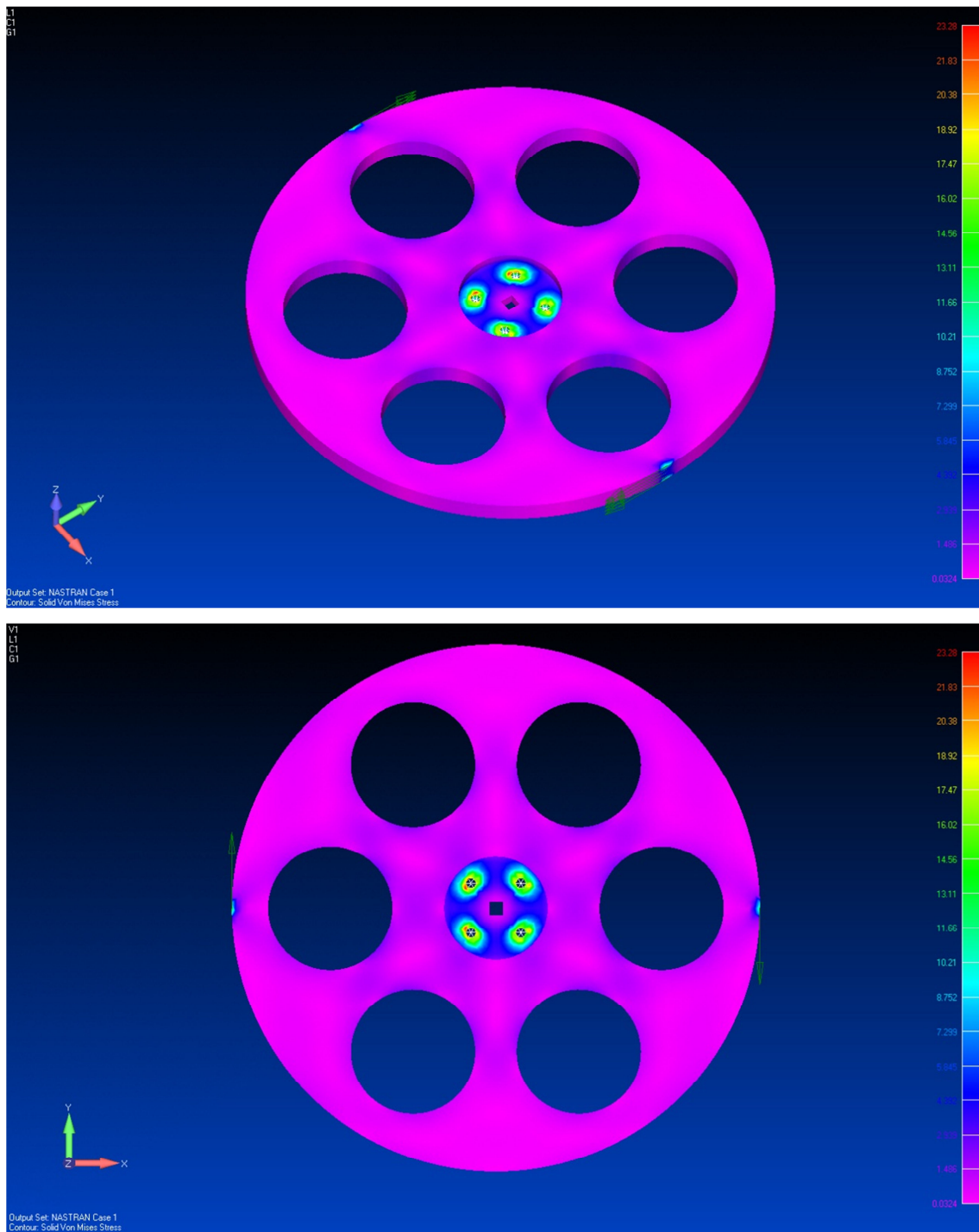


Figura 13 – Tensão de Von Mises Máxima no disco = 23,28Mpa

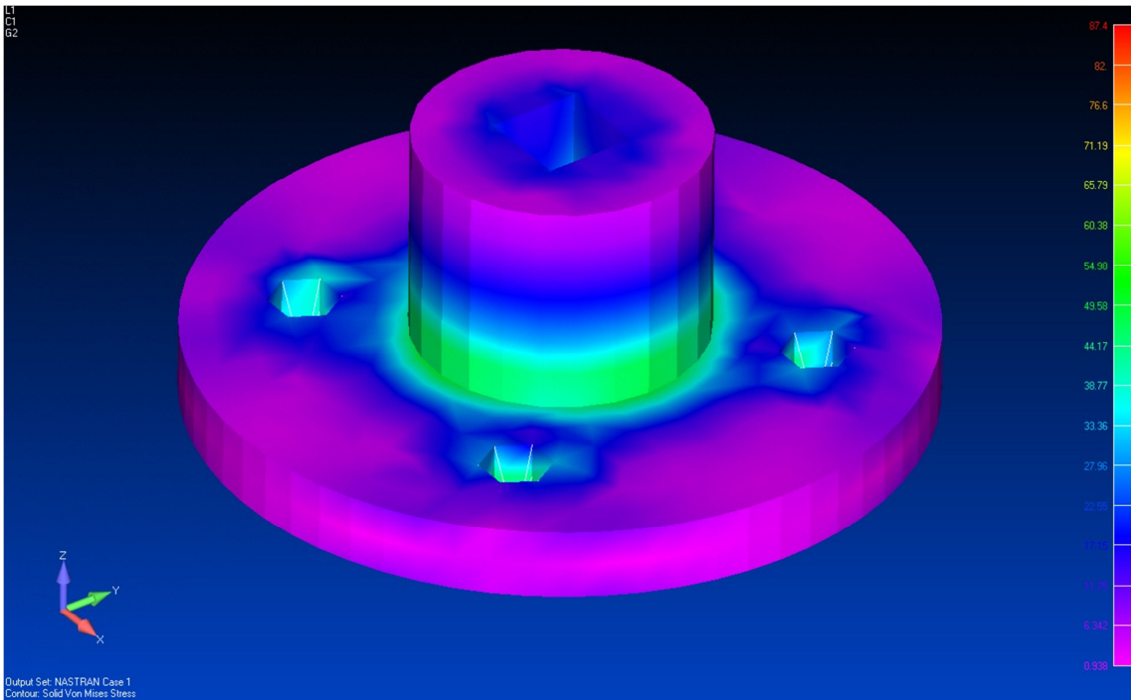


Figura 14 – Tensão de Von Mises Máxima na Interface = 87,4Mpa

	Fs1(N)	Fs2(N)	Fs(N)	Tau_pino (Mpa)
Pino 9	-1744,08	-1743,69	2466,23	31,40
Pino 10	-1753,95	1744,3	2473,65	31,50
Pino 11	1754,87	1741,87	2472,59	31,48
Pino 12	1743,16	-1742,48	2464,72	31,38

Tabela 01 - Tensões de Cisalhamento Desenvolvidos no Pino

	Disco	Interface	Pinos
Tensão Máx (MPa)	23,28	87,4	31,50
Admissível (Mpa)	240	800	670
MS (FS=2)	4,15	3,58	9,64

Tabela 02 – Margens de Segurança dos Componentes do Dispositivo

4. CRONOGRAMA DE ATIVIDADES

O bolsista está realizando o trabalho de iniciação científica de acordo com o cronograma apresentado abaixo:

PROGRAMA DE TRABALHO	ANO 01											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Revisão Bibliográfica	■	■	■	■	■	■						
2. Trabalho de Pesquisa					■	■	■	■	■			
3. Documentação										■	■	
4. Divulgação dos Resultados						■						■

■ Atividades realizadas ■ Atividades Previstas

4.1 Conclusão

Com base nos resultados das tabelas 1 e 2 e considerando os admissíveis dos materiais, conclui-se que as margens de segurança são suficientemente grandes para garantir o funcionamento seguro do dispositivo. A partir disto iniciou-se a fabricação dos dispositivos que está ainda em sua fase inicial. Posteriormente o dispositivo será validado através da elaboração de um procedimento de calibração e planilhas de cálculo de incertezas. Com as demais etapas finalizadas, divulgarei os conhecimentos adquiridos através de publicações técnicas e acadêmicas, e treinarei os técnicos do Laboratório de Metrologia Mecânica.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Walter Link. Metrologia mecânica: expressão da incerteza de medição. Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 174 p., julho, 1997.

Walter Link. Tópicos Avançados da Metrologia Mecânica. Editora da Mitutoyo Sul América Ltda., 1ª edição, novembro de 2000; 263 p.

ABNT NBR 12240:2013 – Materiais metálicos – Calibração de dispositivos para medição de torque estático.

ABNT NBR ISO 6789:2009 – Ferramentas de montagem de parafusos e porcas – Torquímetros manuais – Requisitos e métodos de ensaio para verificação da conformidade do projeto, da conformidade da qualidade e procedimento de calibração e recalibração.

Hibbeler, Russell Charles – Resistência dos materiais I Russell Charles Hibbeler ; tradução Arlete Simille Marques ; revisão técnica Sebastião Simões da Cunha Jr.- 7. ed. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010.