

**SENSOR RPA - RETARDING POTENTIAL ANALYSER
(ANALIZADOR DE POTÊNCIA RETARDANTE)**

Leandro Paulino Vieira

Aluno da Escola de Engenharia Industrial - Bolsa PIBIC / CNPQ
Orientador: Dr. Polinaya Muralikrishna, Pesquisador, Divisão de
Aeronomia

O trabalho apresentado neste relatório tem por objetivo o desenvolvimento do sistema mecânico para o analisador de Potência Retardante, a ser lançado a bordo de foguetes e satélites. O sistema será fabricado na oficina mecânica do INPE, e será integrado aos outros subsistemas do experimento, tais como o sistema eletrônico, e o sistema de telemetria e telecomando, a serem desenvolvidas nos laboratórios do INPE.

O experimento fará medidas de fluxos das partículas de cargas elétricas positivas e negativas, que existem na ionosfera terrestre.

A ionosfera tem um papel muito importante nas comunicações e telecomunicações por ser condutiva (conter elétrons e íons). Através dos tempos, viu-se que ela apresenta certos fenômenos que provocam interferências nas comunicações entre dois pontos do planeta ou entre um ponto do planeta e um ponto no espaço. Dentre os fenômenos pode-se citar: O Espalhamento -F (SPREAD-F) e o Eletrojato Equatorial. Tais fenômenos são manifestações dos processos físicos e eletrodinâmicos que ocorrem na Ionosfera Equatorial.

O fluxo das partículas de cargas positivas ou negativas, interage com a ionosfera. Um dos fatores que afeta a vida útil de um satélite é a intensidade desse fluxo. As partículas danificam os sensores, e interferem com o funcionamento dos experimentos a bordo de um satélite. O conhecimento dos mesmos é muito importante.

O sensor R.P.A. (Retarding Potential Analyser ou Analisador de Potência Retardante) a ser projetado será capaz de colher dados do meio ionosférico. Tudo será possível através da coleta de elétrons (íons) de alta energia presentes na mesma para que se possa realizar estudos mais aprimorados dos fenômenos característicos que interferem nas transmissões via sinal de rádio.

Este sensor terá um conjunto de grades em frente de um coletor de partículas. Essas grades serão mantidas em potenciais retardantes positivas (negativas) para selecionar elétrons (íons) com energias dentro de uma faixa pré-determinada. A corrente produzida pelas partículas no ânodo (coletor de partículas) é interpretada pela placa de circuito impresso e nela será amplificada, e logo após transmitida pelo sistema de telemetria que estará a bordo.

O que se desenvolveu foram os detalhes da parte mecânica deste sensor mencionado, buscando seu aperfeiçoamento. Espera-se chegar a um modelo tal que possa ser testado e fabricado.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INICIAÇÃO CIENTÍFICA (CNPq / PIBIC)
RELATÓRIO FINAL

SENSOR R.P.A.
RETARDING POTENTIAL
ANALYSER

Elaborado por: **Leandro Paulino Vieira**

Orientador: **Prof. Doutor Polinaya Muralikrishna**

INPE

São José dos Campos
Julho de 1996

APRESENTAÇÃO

O trabalho aqui apresentado tem como finalidade desenvolver, projetar e planejar a fabricação de uma carga útil do tipo coletor de partículas denominado **Sensor R.P.A.** ou **Analizador de Potencial Retardante**, para fazer medidas no meio Ionosférico a bordo do foguete Sonda III.

Essa coleta é importante porque é através dela que será possível fazer estudos mais aprimorados do meio ionosférico e estudar seus fenômenos característicos que estão causando interferências em ondas eletromagnéticas.

A prática se baseia na medição de fluxos das partículas de cargas positivas(íons) e negativas(elétrons) nas diferentes faixas de energia, que existem na ionosfera terrestre. Também se irá medir o fluxo de elétrons “suprathermais” na Ionosfera Equatorial. Em seguida será feita a análise desses dados.

Neste trabalho foi desenvolvido um sistema mecânico cilíndrico, que poderá estar a bordo de foguetes ou satélites. O sistema será fabricado na oficina mecânica do INPE, e será integrado aos outros subsistemas do experimento, tais como o sistema eletrônico, e o sistema de telemetria e telecomando, a serem desenvolvidas nos laboratórios do INPE.

Num foguete ou num satélite poderão estar vários experimentos. Quanto mais leve forem eles mais experimentos se poderá lançar conjuntamente.

Ainda este ano o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) irá concluir a fabricação e testes de qualificação para esta carga útil e aguardará a data de lançamento a bordo do foguete Sonda III, na Base de Lançamento em Alcântara-MA - CLA (Centro de Lançamentos de Alcântara). Existe uma outra base em NATAL-RN.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à **DEUS**, por tudo de bom que ele tem me proporcionado.

Ao **Professor Doutor Polinaya Muralikrishna**, ao Departamento de Aeronomia do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo apoio e orientação.

Ao **CNPq**, por ter-me concedido essa bolsa de Iniciação Científica, para o estudo e realização deste trabalho.

Aos meus companheiros de trabalho, e a todos os que me apoiaram na realização deste projeto.

PREFÁCIO

O **Analisador de Potencial Retardante** (Retarding Potential Analyser) é um experimento sendo desenvolvido na Divisão de Aeronomia do INPE para medir a distribuição de energia dos elétrons e íons de alta energia, que estão presentes sempre na ionosfera terrestre.

Partículas com cargas negativas e positivas (elétrons e íons) entram por uma grade metálica onde é aplicado um potencial positivo ou negativo para atrair elétrons ou íons. Partículas somente com energia suficientes para atravessar a grade com potencial retardante entram no sistema. Elétrons ou íons numa faixa pré-determinada de energia é escolhida usando um conjunto de grades e finalmente recolhidos numa placa coletora. O fluxo das partículas recebidas é portanto uma medida de densidade numérica das partículas naquela faixa de energia, que existem no plasma ambiental.

SUMÁRIO

	Página
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	8
1.1 - Ionosfera	8
1.1.1 - Instabilidades de Plasma	12
1.2 - Spread - F	13
1.3 - Eletrojato Equatorial	15
1.4 - Sensor R.P.A.	17
1.4.1 - Princípio de Funcionamento	19
1.4.2 - Desenho Mecânico do Sistema	20
1.5 - Baía de Instrumentação	22
CAPÍTULO 2 - ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO ..	23
2.1 - Materiais em Geral	29
2.2 - Fixadores	30
2.2.1 - Para a parte Mecânica do Sensor	30
2.2.2 - Para as placas internas	31
2.3 - Ferramentas para a Montagem e Fabricação	32
CAPÍTULO 3 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	33
3.1 - Descrição	33

3.2 - Projeto do Sensor R.P.A.	39
3.3 - Fabricação do Sensor R.P.A.	39
3.4 - Montagem do Sensor R.P.A.	40
3.5 - Testes de Certificação	40
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS	43
CAPÍTULO 5 - DESENHO	44
CAPÍTULO 6 - CONCLUSÃO	47
ANEXO 1 - Desenhos Técnicos do Sistema	48
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As condições geomagnéticas e geográficas no Brasil apresentam importantes peculiaridades em escala global. Uma delas se refere à grande extensão longitudinal no território brasileiro. A região equatorial é caracterizado pela ocorrência do Eletrojato equatorial e de diversos processos de instabilidade do plasma ionosférico.

O projeto de estudos da ionosfera e alta atmosfera com experimentos lançados a bordo de foguetes de sondagem, tem o objetivo principal de estudar os processos dinâmicos e eletrodinâmicos na ionosfera e alta atmosfera equatorial.

1.1 - Ionosfera

A Ionosfera é uma camada da atmosfera que está aproximadamente de 50 à 1.000 km acima da crosta terrestre. É uma camada condutiva, por conter íons e elétrons. É definida como sendo a região da atmosfera superior onde elétrons e íons existem em quantidades suficientes para influenciar a propagação de ondas de rádio. Ela é o resultado da interação de radiação ionizante, eletromagnética e corpuscular, com os constituintes neutros da atmosfera, formando pares elétron-íon que, finalmente, se recombinam. Ela é mantida por um balanço de produção elétron-íon, mecanismos de perda físicos e químicos, e processos de transporte.

O limite inferior da ionosfera terrestre, em torno de 60 km, coincide com a região onde a ionização é produzida pelas radiações mais penetrantes, geralmente raios cósmicos. O limite superior pode ser definido pela interação do vento solar (o plasma que continuamente flui do Sol para o espaço interplanetário, com velocidades supersônicas, como resultado da expansão da coroa solar quente) com o campo magnético planetário.

A fig. 1.1 dá uma indicação da profundidade de penetração das várias radiações solares ionizantes, com os principais íons produzidos nas várias camadas da ionosfera, como também a distribuição média de densidade eletrônica, durante o dia. A fig. 1.2 mostra a proporção relativa e distribuição vertical dos íons positivos, durante o dia, típica de períodos de baixa atividade solar. Evidentemente, a ionização produzida e o seu comportamento variam com o ciclo solar e com mudanças no espectro de radiação do Sol (como ocorre durante erupções solares).

Os símbolos D, E, F1 e F2 são normalmente usados para distinguir as várias regiões da ionosfera em termos de faixas de altitude, as quais diferem basicamente nos processos físicos e químicos que governam o comportamento de cada camada.

Nesta camada, o número de elétrons e íons presentes são iguais, por isso esse meio é também conhecido como **“Plasma Ionosférico Neutro”**.

Como a Ionosfera é boa condutora e refletora de ondas eletromagnéticas, é muito utilizada nas comunicações e telecomunicações, via sinal de rádio. Através dos tempos, viu-se que em algumas ocasiões, essas transmissões sofriam um tipo de interferência, que impossibilitava a comunicação entre dois pontos do planeta. Estes fenômenos de interferência não tem hora nem local específico para ocorrer.

Através de muitos estudos, viu-se que essas interferências ocorrem devido a fenômenos presentes na Ionosfera Terrestre. Dentre os fenômenos que causam essa interferência pode-se citar: O **espalhamento-F** (SPREAD-F) e o **Eletrojato Equatorial**.

Estes fenômenos são manifestações dos processos físicos e eletrodinâmicos que ocorrem na Ionosfera Equatorial.

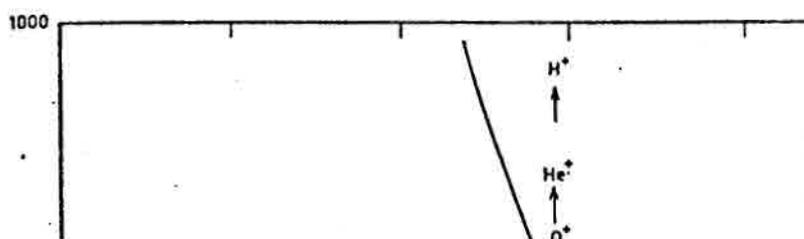


Fig.1.1 - Distribuição eletrônica durante o dia, com uma indicação dos principais fotoíons produzidos por radiação solar XUV nas várias camadas da ionosfera.

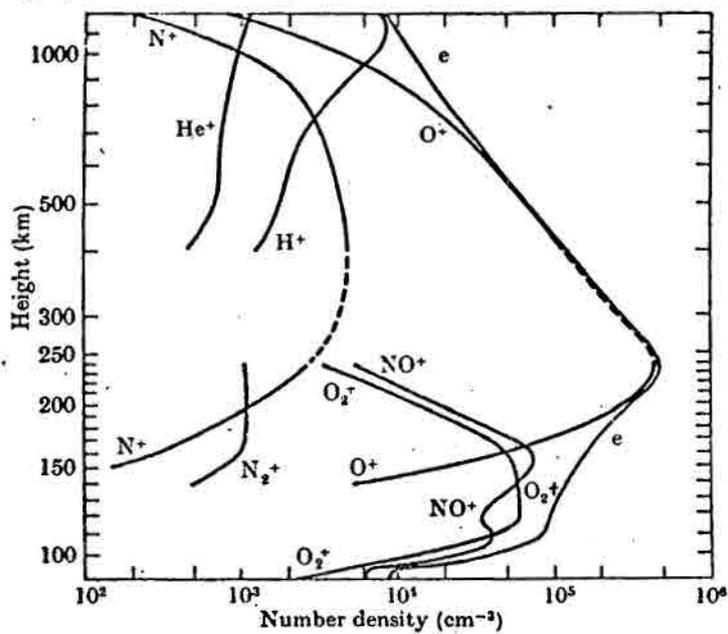


Fig.1.2 - Distribuição com altitude dos íons positivos principais, típica da ionosfera diurna durante atividade solar mínima.

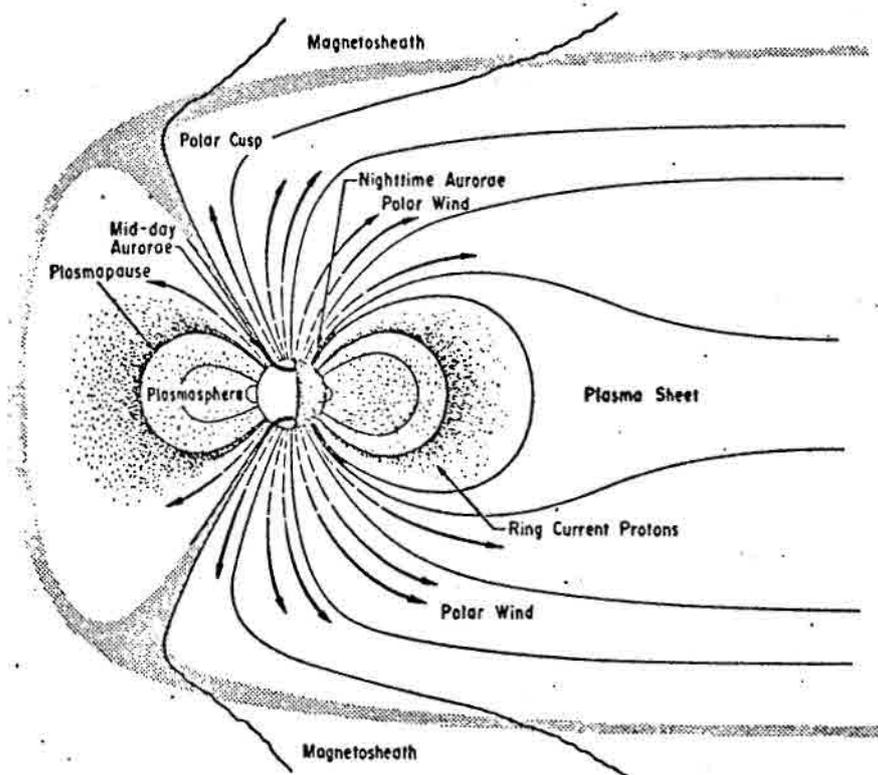


fig. 1.3 - Representação esquemática da magnetosfera da Terra e do plasma existente na sua vizinhança.

“Estudos da Ionosfera e Alta Atmosfera com experimentos lançados a bordo de Foguetes de Sondagem” é um projeto de pesquisa iniciado no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT nos anos 80. Nos últimos 15 anos o projeto evoluiu com pleno sucesso, e vários experimentos científicos foram lançados a bordo de foguetes, principalmente foguetes brasileiros do tipo SONDA III, em colaboração com o Instituto de Aeronáutica e Espaço - IAE/CTA.

1.1.1 - Instabilidades de Plasma

O plasma ionosférico, em determinadas condições da ionosfera, torna-se instável produzindo irregularidades de plasma na escala de alguns centímetros à centenas de quilômetros. Estas irregularidades de plasma afetam os processos de comunicação pelas ondas de rádio, e poderão ser detectadas nos sinais de rádio refletidos das regiões E(70-150km de altura) e F(150-1000km de altura) da ionosfera. Os processos de geração, evolução e transporte destas irregularidades, apesar de ser amplamente estudados, ainda estão bem longe de ser conhecidas completamente. Bolhas de plasma, Spread-F, Sporadic-E, etc são manifestações destas irregularidades de plasma na ionosfera equatorial.

1.2 - Spread - F

É um fenômeno muito conhecido e estudado pelos pesquisadores. O **Spread-F** ou Espalhamento-F são observadas nas **regiões equatoriais**, e de **baixa e média latitudes**. As vezes são associadas às irregularidades do plasma, de grande escala, conhecidas como **Bolhas de plasma**.

Bolhas de plasma são regiões gigantes de rarefações de plasma na ionosfera. Sob ação de campos elétricos, a ionosfera tropical, ao entardecer é sujeita ao movimento vertical rápido e na presença de forte gradiente da ionização, que caracteriza a parte inferior da camada F nestas horas, torna-se instável às perturbações induzidas pela atmosfera neutra. O crescimento em amplitude destas perturbações ocorre através do mecanismo Rayleigh-Taylor da instabilidade de plasma, resultando na geração de regiões de rarefações de densidade, chamados de bolhas de plasma. (Parâmetros observados: Densidade numérica de plasma, campo elétrico, temperatura cinética de plasma, distribuição espectral das irregularidades de plasma.

São as irregularidades do **Plasma Ionosférico** que se dá o maior problema de interferência nas transmissões.

As interferências existem devido às alterações ocorridas na densidade eletrônica do **Plasma Ionosférico**, ou seja, há um aumento ou diminuição da densidade eletrônica, e estas flutuações da densidade são resultados dos processos dinâmicos e eletrodinâmicos da Ionosfera. As **Bolhas Ionosféricas** são flutuações da densidade de grande escala.

Hoje se sabe que as **Bolhas Ionosféricas (Bolhas de plasma)** são formadas em baixas latitudes, mais frequentemente no Equador Magnético. Quando um sinal emitido encontra uma Bolha Ionosférica, o mesmo irá penetrar na Bolha. Ela não conseguirá ultrapassá-la, pois no interior da Bolha há irregularidades do plasma. O sinal emitido sofre uma interferência no interior da Bolha Ionosférica fazendo com que o sinal não chegue ao seu destino, ou quando chegar, chegue com distorções. Diante desta situação fica impossibilitada a comunicação entre dois pontos do globo terrestre.

1.3 - Eletrojato Equatorial

A Ionosfera como já se sabe possui grandes quantidades de cargas elétricas.

O **Eletrojato Equatorial** é um sistema de correntes naturais das partículas carregadas que correm durante o dia numa faixa de latitude de aproximadamente 15° em torno do equador geomagnético, numa faixa de altura de 95-120 km (Região E da ionosfera equatorial, ficam na direção leste-oeste). Na região do Eletrojato, o plasma ionosférico é altamente instável e irregularidades de plasma de vários tipos são gerados nesta região. Possui dimensões de dezenas de km na direção vertical e centenas de km na direção norte-sul.

Este fenômeno ocorre quando há o surgimento de “impulsos” dado aos íons pelos Ventos Neutros (Movimento Global das Partículas não Ionizadas). Diante deste fato pode-se afirmar que o **Eletrojato Equatorial** exhibe correntes elétricas.

Este fenômeno tem grande importância tanto para um entendimento da física da Ionosfera, quanto para questões práticas de prospecção em Geologia, que utilizam o campo magnético como um parâmetro para estudos.

Para que os fenômenos citados anteriormente e a Ionosfera possam ser estudados, há a necessidade de se ter instrumentos capazes de

colher dados do meio Ionosférico. É nisso que se tratará o presente relatório.

1.4 - Sensor R.P.A.

O fluxo das partículas de cargas positivas ou negativas, interage com a ionosfera. Um dos fatores que afetam a vida útil de um satélite é a intensidade desse fluxo. As partículas danificam os sensores, e interferem com o funcionamento dos experimentos a bordo de um satélite. Portanto, o conhecimento das características principais destas partículas é muito importante na projeção do satélite e dos experimentos a bordo.

O **Analizador de Potencial Retardante** é usado para realizar medidas de distribuição em energia de elétrons na faixa de 2.5 eV e 80 eV na ionosfera, com a finalidade de aprimorar nosso conhecimento das características e do comportamento de elétrons “suprathermais” no que diz respeito a manutenção da ionosfera noturna, ao campo elétrico e a geração de micro-instabilidades no plasma ionosférico e aos efeitos produzidos durante as perturbações magnéticas.

O objetivo tecnológico de lançar o R.P.A. a bordo de um foguete é o seu teste e a sua qualificação para o seu lançamento posterior a bordo de um satélite científico.

O experimento visa medir o fluxo de elétrons com energia entre 2.5 eV e 80 eV. As cinco grades do detector do R.P.A. são mantidas em potenciais diferentes, escolhidas para impedir a entrada de íons dentro do detector, e para deixar entrar somente os elétrons na faixa de energia desejada (Fig. 1.4). A corrente coletada pelo anodo do detector que é

mantido num potencial fixo, será ampliada por um amplificador com controle de ganho automático e transmitida à estação terrestre pelo sistema de telemetria a bordo do foguete.

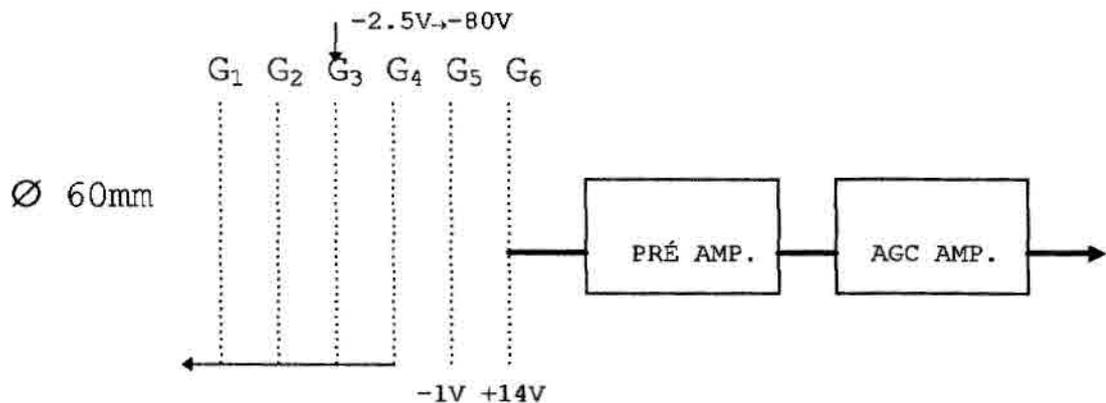


Fig. 1.4 - Diagrama que mostra o princípio básico de um Analisador de Potencial Retardante.

O **Sensor** descrito neste relatório tem fundamental importância, pois o mesmo será capaz de colher dados do meio Ionosférico. Tudo será possível através da coleta de elétrons(ions) de alta energia na Ionosfera terrestre para que se possa realizar estudos mais aprimorados dos fenômenos citados acima, que interferem nas transmissões eletromagnéticas.

Este relatório tratará do desenvolvimento dos detalhes da *parte mecânica* deste sensor, denominado **Sensor R.P.A.(Retarding Potential Analyser** ou **Analisador de Potência Retardante)** buscando seu

aperfeiçoamento. Espera-se chegar a um modelo tal que possa ser testado e fabricado.

O sensor deve ser *leve, compacto* e não apresentar *elevada sensibilidade a vibrações*, pois o ambiente em que ele se encontrará no momento do lançamento e durante seu ciclo exigirá todos esses parâmetros para que o experimento tenha sucesso.

Outro fator importante (no que diz respeito a sua leveza), é que quanto mais leve ele for, mais experimentos se poderá incluir num mesmo lançamento. Pois um foguete por exemplo possui um certo limite de carga e espaço para os mesmos.

O *alumínio* será o material usado para alojar todas as partes deste sensor. Isto devido a ser um material que satisfaz os pré-requisitos descritos acima. E com isso contribuir para o sucesso do experimento.

1.4.1 - Princípio de funcionamento

O **sensor R.P.A.** contém um conjunto de *grades* em frente de um *coletor de partículas*. Essas grades serão mantidas em *potenciais retardantes positivas/negativas* para selecionar *elétrons/íons* com energias dentro de uma faixa pré-determinada.

Os elétrons ou íons serão então atraídos pelas grades retardantes. A velocidade dessas partículas é muito grande.

A corrente produzida no ânodo(coletor de partículas) por essas partículas selecionadas, é então interpretada pela placa de circuito impresso. Nela o sinal será amplificada, e logo depois transmitida pelo *sistema de telemetria* que estará a bordo.

O sistema de telemetria é o instrumento responsável pela transmissão dos dados para uma base terrena.

Acima está um descrição rápida do funcionamento do sensor sugerido neste relatório.

1.4.2 - Desenho Mecânico do Sistema

Na primeira fase do projeto, um estudo da montagem geral do experimento foi completada. Na fase atual, o que se desenvolveu é o detalhamento das partes mecânicas do experimento, para facilitar a sua fabricação, seguindo suas restrições.

Os pontos mais importantes, considerados, neste detalhamento, são os seguintes:

(i) Os desenhos devem satisfazer os critérios padronizados pelo INPE.

(ii) O peso total da montagem deve ser o mínimo possível, considerando a disponibilidade de peso no satélite.

(iii) As partes mecânicas e os acoplamentos entre eles devem aguentar os níveis de vibração especificados.

(iv) Os isolantes elétricos usados no experimento, devem funcionar nas condições Ionosféricas, de baixa pressão.

A projeção do sistema do **sensor R.P.A.** foi feita pelo software AutoCAD R10, para que se possa ter uma visão mais clara das peças que compõem o mesmo, e do modo como serão conectadas.

1.5 - Baía de Instrumentação

O foguete pode ser considerado como a junção de vários cilindros, um cone e aletas para estabilização e controle do veículo. Divide-se em duas partes principais: a região de propulsão e a região de cargas úteis (experimentos carregados a bordo do foguete para realizar uma tarefa específica). A região das cargas úteis é dividida em vários setores chamados de Baía de Instrumentação. Cada Baía de Instrumentação tem $\varnothing 300 \times 414$ mm. Cada carga útil do foguete é colocada dentro de uma baía.

Essas baías são compostas de uma casca (revestimento externo) e uma estrutura circular chamada treliça na qual estão fixados vários pratos circulares reforçando a rigidez e separando as baías. Se a ogiva for ejetável a carga útil que estiver nela, ficará exposta ao meio ambiente, o que permite utilizar mecanismos que expandem, fotômetros e outros.

A concepção desta carga útil é utilizar a região da ogiva para posicionar o mecanismo, e na baía inferior as caixas principais (eletrônicos) para seu controle. Nesta carga útil a ogiva é ejetável.

CAPÍTULO 2

ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

As *grades* serão fixadas em *discos isolantes*, que serão de fibra de vidro. É nela onde serão selecionados os *elétrons*.

Esses elétrons depois de selecionados, serão coletados por uma placa capacitiva, denominada de “**placa coletora**”(coletor de partículas). É nesta placa capacitiva que os elétrons/ions selecionados irão incidir.

Com a incidência dos elétrons, a placa coletora irá emitir um sinal elétrico (pulso elétrico) que irá ser recebido em uma placa de circuito impresso, contida no interior do sensor.

Esta placa de circuito impresso irá interpretar os sinais recebidos da placa coletora (leitura) e transmiti-los a uma **caixa principal** denominada do inglês “**main box**” (saída de dados).

A **caixa principal** tem por função receber o sinal da placa de circuito impresso e plotá-los em papel devidamente graduado, ou transferir os dados para fitas magnéticas.

A saída de dados é feita através de um **conector retangular subminiatura do tipo “D”**. O mesmo possui 25 pinos, que farão o papel de transporte de informações para a **caixa principal** (main box).

O sinal saído da placa de circuito impresso, poderá também ser enviado para um base terrena através do sistema de telemetria.

O material usado para o sensor como já foi dito é o alumínio, que foi escolhido devido ao mesmo ser leve, resistente e barato.

Deve-se salientar que durante todo o processo de operação do sensor, a vibração presente não poderá ter uma frequência próxima da frequência natural da estrutura mecânica do experimento. Pois caso contrário o sensor vibrará até entrar em ressonância, e com isso ser gravemente danificado. Isto ocorre devido ao excesso de vibração, causado pela soma das frequências, resultando num aumento da amplitude do mesmo.

Pois quando dois sinais de mesma frequência se encontram, elas se somam. E como o processo de vibração é dinâmico, a frequência da vibração presente amplificará a frequência natural de vibração do material usado (no caso o alumínio), o que resultará num possível desastre.

Mesmo assim, poderão surgir vibrações que são harmônicas ou sub-harmônicas da frequência natural do sistema. Diante disto, os testes que serão feitos na estrutura do Sensor após sua fabricação é que dirão se essas frequências poderão afetar ou não nos dados coletados. Possivelmente as frequências harmônicas mais próximas poderão fazer com que os dados fiquem inexatos ou não confiáveis. Já os sub-harmônicos poderão ser mais

toleráveis, visto que são praticamente desprezíveis (no que diz respeito à coleta de dados).

Diante disto procura-se sanar este problema, com amortecedores que serão acoplados ao sensor, procurando fazer com que uma possível vibração, com uma determinada frequência, jamais se aproxime da frequência natural da estrutura mecânica do experimento.

Esta técnica funciona através da redução da frequência oscilante. Os amortecedores, que serão discos de borracha, fará com que o sistema não vibre numa possível frequência inesperada que poderá surgir.

Só para se ter uma idéia da vibração em ressonância que poderá surgir, pode-se compará-la à **equação 2.1**, e sua respectiva forma de onda, na **fig. 2.1**. Que tão somente é uma vibração, que através do tempo irá aumentar para valores surpreendentes, que teoricamente se chega até o infinito, mas praticamente, antes que se chegue ao infinito, o sensor já foi totalmente destruído.

$$v = A \cdot e^{\alpha t} \cdot \cos(\beta t)$$

eq. 2.1 - Equação que representa a vibração de ressonância, ocasionada pela soma da frequência de vibração (a qual o sensor poderá ser submetido) e sua frequência natural.

Note-se que a equação mostrada na **eq. 2.1**, é apenas um **modelo matemático simplificado da realidade**. É apenas para se ter uma idéia do grau de amplificação da vibração.

De acordo com a **eq. 2.1**:

v → amplitude de vibração (mm);

α e β → resultantes da solução das raízes complexas conjugadas;

A → amplitude inicial (mm);

t → tempo (s).

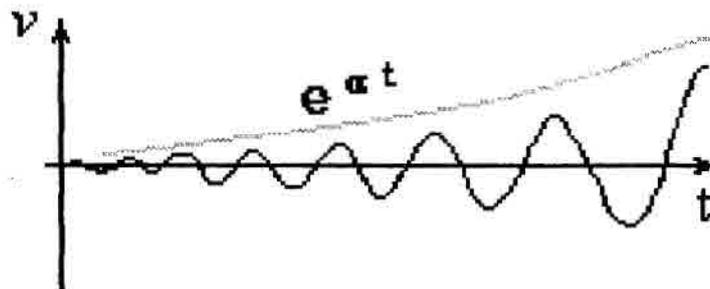


fig. 2.1 - Diagrama da possível forma de onda gerada pelo sinal da vibração existente durante todo o experimento. Quando a frequência do sinal da vibração for igual ou aproximado da frequência natural da estrutura mecânica.

As peças que compõem o sensor projetado está subdividido em 4 partes:

(i) **Tampa**: Onde os elétrons incidirão;

(ii) **Área de seleção**: Parte do sensor onde os elétrons passarão por um processo de seleção. É onde se alojarão as **grades retardantes**;

(iii) **Área de leitura**: Nesta parte ficará fixada a **placa coletora** e a **placa de circuito impresso**, responsáveis pelo armazenamento e análise dos elétrons selecionados;

(iv) **Saída de dados**: Nesta parte se fixará o **conector retangular subminiatura do tipo "D"**, responsável pela transmissão dos dados para a **caixa principal** (main box).

Todas estas partes possuem uma peça correspondente, onde se alojarão os componentes responsáveis pelo experimento em si.

Todas essas partes estão melhor detalhados nos desenhos técnicos.

Se for necessário algumas peças serão interligadas por meio de solda, pois formarão uma só peça. Fazendo assim que a *produção seja mínima*.

As partes que compõem o sensor, possuem *interligamento através de parafusos*, pois nelas serão alojadas os componentes essenciais do mesmo, para que possa ser possível fazer reparos quando necessitar.

Estas peças deverão ter cantos arredondados, para evitar concentrações de tensões, e um possível rompimento da estrutura.

Como os discos de fibra de vidro são *frágeis*, exigem a existência de *discos de borracha*. Estes discos deverão ser ótimos isolantes elétricos,

para que os potenciais das grades não interfiram entre si. Deverão ter também um alto coeficiente de amortecimento, pois, ele sofrerá vibrações.

Após fabricado, todo o experimento passará por um teste de vibração, feito pela “mesa vibratória” localizado no Laboratório do LIT (Laboratório de Integração e Testes).

As grades retardantes devem estar bem esticadas, para que não haja o perigo de flambagem. Isso poderá ser resolvido colocando-se *pinos guia* por entre os discos de fibra de vidro. Tais *pinos* devem estar revestidos de borracha, para um melhor fixamento, e também pelo fato dos *discos* serem de material frágil, passíveis de rachaduras.

Como fator de segurança deve-se colocar cilindros de borracha ao redor dos discos de fibra de vidro, e também arruelas de borracha nos parafusos e peças de encaixe.

Tudo isso para que as vibrações citadas não causem danos a parte mecânica e eletrônica do sensor. É apenas um mecanismo que garanta a segurança do sistema e que aumente a confiabilidade dos dados.

Outro problema, é que os discos deverão estar bem posicionados entre si, para que os potenciais de suas grades não interfiram entre si, durante o processo de lançamento e atuação.

Por isso faz-se necessário seguir com rigor as tolerâncias de medida e de forma especificadas nos desenhos técnicos.

Segundo já foi definido anteriormente, as grades retardantes devem possuir a maior área livre para a passagem dos elétrons. Foi definido que uma grade retardante com área livre $\cong 44\%$ será o suficiente. Isso poderá ser revisado com antecedência.

A espessura dos cilindros tiveram um aumento em sua espessura devido às vibrações transversais.

Os desenhos (vistos em corte) estão mostrados no capítulo DESENHOS.

2.1 - Materiais em Geral

Todas as peças de alumínio, inicialmente, antes da usinagem, serão peças brutas. Essas peças deverão ser usinadas de acordo com as especificações dos desenhos técnicos elaborados. Logo, todo o acabamento e verificação de impurezas, falhas ou trincas, deverão ser observadas antes da usinagem. Isto poderá ser feito através de uma análise microscópica (óptica), para verificar se o material, no caso o alumínio, possui os componentes que realmente possui na sua condição normal. Isto será importante para evitar futuros problemas, como rompimentos não esperados.

A fibra de vidro terá o mesmo processo de verificação microscópica. Ela terá que ter cuidados especiais, devido a sua fragilidade. Por isso a verificação de seus componentes naturais será importante.

Para revestimento e amortecimento desses discos serão inseridos entre eles **discos de borracha**, de mesmo *formato e tamanho*.

Uma **chapa de borracha** (opcional) poderá ser inserida para “**encapar**” os discos de fibra de vidro contra as *vibrações transversais*.

2.2 - Fixadores

2.2.1 - Para a parte mecânica do sensor

Cada disco fixante de alumínio terão 4 (quatro) fixadores de aço inox, normalizado pelo INPE.

No total serão 12 (doze) fixadores de mesma especificação, sendo 4 (oito) para cada acoplamento.

Caso se use porcas para os parafusos fixantes, os furos das peças de encaixe do sensor não precisarão de porcas.

Haverá a necessidade de se inserir juntamente com os parafusos e porcas fixantes, pequenos discos de borracha. Como segurança serão 24 pequenos discos de borracha, sendo 12 como amortecimento para os parafusos e 12 para as porcas que serão inseridas juntamente.

Esses discos de borracha tem por objetivo amortecer as vibrações presentes no momento do ensaio, isto é, reduzirão a frequência oscilante para que ela jamais chegue a frequência natural do sistema.

2.2.2 - Para as placas internas

Para a placa capacitiva se convencionou inserir 3 (três) fixadores, que no momento não é conhecida a sua especificação.

Para a placa de circuito impresso se convencionou inserir 5 (cinco) fixadores. Sendo 4 (quatro) nas laterais e 1 (um) ao centro. Um fixador ficará no centro para reduzir a tendência a vibração, e assim evitar danos no funcionamento do circuito.

Como toda placa de circuito impresso, os mesmos terão que ter apoios, para que haja uma isolação entre a placa e a estrutura do sensor.

Logo, os fixadores serão acompanhados de apoios com amortecimento através de discos de borracha.

2.3 - Ferramentas para a Montagem e Fabricação

As peças serão usinadas por meio de tornos, fresas e retíficas para um acabamento ou para uma desbastagem. Possivelmente será usado uma máquina CNC para uma melhor precisão.

Ferramentas adicionais como Torquímetros, Chaves de boca e de Fenda, etc., serão ferramentas importantes para a montagem do sistema.

CAPÍTULO 3

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 - Descrição

Em primeira instância, para um estudo melhor do sensor R.P.A., fez-se uma pesquisa de alguns trabalhos que dizem respeito a dados coletados na Ionosfera. Apenas para se ter uma idéia dos métodos utilizados para se coletar dados na mesma.

Este estudo, visa nesta segunda fase do projeto, a análise do sistema mecânico do experimento, procurando seu detalhamento. Assim como seu projeto em si, para que se possa fabricar o sensor na oficina mecânica do **INPE**.

Há uma consideração importante feita a este sensor. Este sensor deverá atingir uma altura elevada para que entre em funcionamento. Essa altura vem a ser logicamente onde se encontra a região Ionosférica do nosso interesse. E para que o sensor alcance essa camada que será estudada, o mesmo deverá ser lançado a bordo de um foguete ou a bordo de um satélite. O sensor, neste caso, é considerado uma carga útil do foguete ou do satélite.

Até o primeiro instante, o sensor irá ser lançado a bordo do foguete **SONDA III**. Sendo assim, o sensor deverá suportar os esforços e vibrações provenientes do lançamento e funcionamento do foguete, até que se termine todo o ciclo de trabalho no qual ele será utilizado.

A vibração será o principal obstáculo que o sensor terá de superar. Por isso, será necessário se fazer um estudo aprimorado das vibrações que possivelmente irão aparecer durante sua operação de coleta de dados. Todos os cuidados com a vibração deste sensor já foi relatado no capítulo ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO.

Uma provisória prevenção, são os discos e cilindros de borracha que serão acrescentados na estrutura do sensor.

O que procura-se, na verdade, é que os dados fiquem confiáveis, sem interferência devido a vibração que poderá existir no momento de seu funcionamento. Este estudo exige que os dados, prescrevam o que realmente ocorre na Ionosfera, diante da análise deles. Para que assim se tire conclusões concisas.

A isolação de cada uma das seis grades, também é um fator muito importante. Pois poderá haver interferências provido dos potenciais aplicados em cada grade, devido a vibração e ao fluxo de partículas que no momento de seu funcionamento incidirá sobre as grades.

As grades possuem um fator importante, que é o seu número de malha (espaço entre os fios que formam a grade retardante). Elas são especificadas segundo o fabricante. Neste experimento, a grade deverá ter a maior área livre para a passagem dos elétrons selecionados. Uma das explicações para isso é do problema citado acima, sobre as interferências proveniente do fluxo de partículas.

Pois sendo uma maior área livre, o fluxo das partículas não afetará muito nos dados que serão transmitidos. E assim a análise desses dados poderão ser mais confiáveis.

Como fator de isolamento, foi projetado um alojamento de fibra de vidro para as grades. Elas serão introduzidas na *peça de seleção* (**fig.5.4**). O seu dimensionamento já está definido (vide desenhos). A fibra de vidro foi escolhida devido a ser um material tolerável, ótimo isolante, leve e barato.

Quanto aos desenhos, foi introduzido *tolerâncias* juntamente com as cotas do alojamento das grades, para que o encaixe seja bom (sem folga ou aperto) de acordo com a necessidade do mesmo. Pois haverá a necessidade de se introduzir outras peças de segurança, como os cilindros de borracha (que é uma peça opcional).

O interior do sensor, terá duas placas de circuito impresso que estarão sustentadas nas peça de armazenamento (**fig. 5.5**) e de transmissão (**fig 5.6**), através de um apoio. Deve-se salientar que esta placa deverá ter uma fiação elétrica compatível com o conector subminiatura do tipo "D".

A placa de circuito impresso, para efeito de estética, poderá ter a forma circular. Nela existirão elementos fixadores (parafusos, contra porca e arruela ou um parafuso auto-atarrachante), que serão acompanhados de um espaçador.

Este sensor está dividido em 5 peças fundamentais.

- A **peça 1 (fig. 5.3)**, é a parte do sensor onde será feita a entrada dos elétrons ou íons a serem selecionados pelas grades. É tão somente um disco de alumínio, provido de um orifício cônico, para facilitar a entrada de dados(elétrons/íons).

- A **peça 2 (fig. 5.2)**, são os os discos de fibra de vidro, acompanhados de discos de borracha. Esses discos de borracha servirão para amaciar possíveis vibrações bruscas durante todo o ciclo. Essa peça é muito importante, pois ela é responsável pela seleção dos elétrons (íons) incididos.

- A **peça 3 (fig. 5.4)**, é a peça onde será inserido o **alojamento das grades retardantes** (discos de fibra de vidro). Essa peça servirá como suporte para os discos que estarão com as grades.

- A **peça 4 (fig. 5.5)**, é a peça onde se alojará a **placa coletora** de elétrons (placa capacitiva). Essa placa é o instrumento responsável pelo armazenamento dos elétrons (íons) selecionados pelas grades retardantes. Nesta peça estará também a **placa de circuito impresso 1**, responsável pela codificação dos elétrons/íons selecionados.

- A **peça 5 (fig. 5.6)**, é a última peça. É nela onde se alojará a **placa de circuito impresso 2** (responsável pela transmissão/amplificação dos sinais codificados pela placa de circuito impresso 1). É também onde se

encontrará o **conector retangular subminiatura do tipo “D”** (responsável pela transmissão dos sinais amplificados pelo circuito impresso 2, para a caixa principal).

O espaço contido na peça da **fig. 5.6**, será necessário devido às fiações que a placa terá que ter para ser devidamente acoplada ao conector.

Os parafusos foram dimensionados de acordo com o tipo de necessidade em que se encontrará o sensor em si. Por exemplo, nas extremidades, serão inseridos, pequenos **discos de borracha**. Mas isso poderá ser discutido antes de sua fabricação, para se saber qual o mais conveniente.

Foi usado furos com rosca do **tipo M5**, que é o necessário para que o fixamento seja perfeito, ou seja, sem rompimentos.

Colocou-se pequenos **amortecedores** sobre esses fixadores, para que o efeito das vibrações que aqui foram citadas, não cheguem a causar danos irreparáveis ao sensor, ou que os dados possam ficar *inexatos*.

Foram colocados pequenos **rasgos** nas laterais dos **discos de fibra de vidro** e dos **discos isolantes**, para que possa ser possível a introdução dos potenciais (através de fios conectores) sobre as grades.

Haverá um grande número de fixadores neste sensor, entre eles estão as porcas, parafusos, arruelas, etc. Todos eles com elementos

amortecedores, para que se reduza ao máximo possível os efeitos de vibração em que o sensor estará sujeito.

Todos esses elementos fixadores mencionados deverão ser de aço inox. Foi escolhido esse material para os fixadores devido a ser o mais conveniente, para se evitar contaminações de agentes externos, durante a fabricação, e durante sua fase de experimentação.

3.2 - Projeto do Sensor R.P.A.

Um estudo foi feito de todas as condições em que o **sensor** estará sujeito durante sua operação. Entre eles, pode-se citar, a capacidade que o **foguete** a ser lançado possui, de suportar a massa da carga útil (que será o próprio sensor), qual o nível de vibração que o foguete terá desde sua partida até o término de sua função, condições de altitude em que o sensor estará operando, qual a temperatura média em que o sensor estará sujeito (dado muito importante para o projeto do sensor, devido a dilatação térmica do material, no caso alumínio, diante da variação da temperatura).

3.3 - Fabricação do sensor R.P.A.

A fabricação das peças (que formam o conjunto do sensor) será de responsabilidade do setor da Oficina Mecânica do INPE. A fabricação deverá ser realizada segundo os desenhos técnicos elaborados pelo idealizador do projeto.

Antes da fabricação, os desenhos deverão ser aprovados. Este é um ponto muito importante.

Após a fabricação das peças que compõem o sensor, as mesmas deverão passar por um rígido controle de qualidade. Para que se possa haver a aprovação e certificação das peças fabricadas.

Nesta fase, se verificará algo que pode ser modificado, devido a recursos limitados. E para isso, deve levar essas considerações ao projetista, para que ele faça as mudanças no projeto, e assim voltar para o processo de fabricação.

3.4 - Montagem do Sensor R.P.A.

As ferramentas básicas que serão necessárias para a montagem deste sensor podem variar de acordo com o critério do montador. Mas aqui está uma síntese das possíveis ferramentas que serão usadas no processo de montagem. Entre eles estão : Uma bancada, Chaves de Fendas, Chaves de Bocas, Alicates de Pressão, Chaves Allen, Graxas Lubrificantes, Limas, Morsa, Protetores de Alumínio, Torquímetro, Estopa, Conjunto para Abertura de Roscas, etc.

3.5 - Testes de Certificação

Os testes de certificação deste sensor, serão indispensáveis. Pois é deles que sairão as garantias do pleno funcionamento do sensor quando estiver em operação na **Ionosfera**.

O principal teste de certificação do sensor, será o teste de vibração. Este teste é importante porque é nele que se poderá ter

conhecimentos das possíveis alterações mecânicas que poderão surgir durante seu ciclo de trabalho na Ionosfera. Este teste de certificação deverá ser realizado em uma mesa denominada de “**Mesa Vibratória**”. O sensor será colocado sobre a mesa vibratória, e nele, deverá ser colocado vários sensores denominados acelerômetros. Esses acelerômetros serão inseridos nos pontos que poderão estar sujeitos a romper ou danificar com a vibração do foguete.

Os acelerômetros são equipamentos que captam o grau de vibração nos pontos onde foram inseridos, diante da vibração que estará presente. A esses pontos (onde é mais provável qualquer deformação na estrutura) dá-se o nome de **pontos críticos**.

Para se ter a certificação de que o sensor funcionará conforme o previsto, o **sensor R.P.A.** deverá passar por mais testes. Não só na parte mecânica, mas também na parte eletrônica. Todos esses testes visam aumentar a confiabilidade do sensor estar funcionando perfeitamente conforme planejado.

Caso o sensor não venha a ser certificado, por qualquer um dos testes, o mesmo deverá ser reprovado logicamente pelo controle de qualidade. O que se deve é estudar a deficiência do Sensor projetado que causou a reprovação no teste e procurar sanar este defeito. E feito isso, poder-se-á dar continuidade aos testes de certificação do sensor. Tudo funcionará como um ciclo, conforme mostra a **fig. 3.1**.

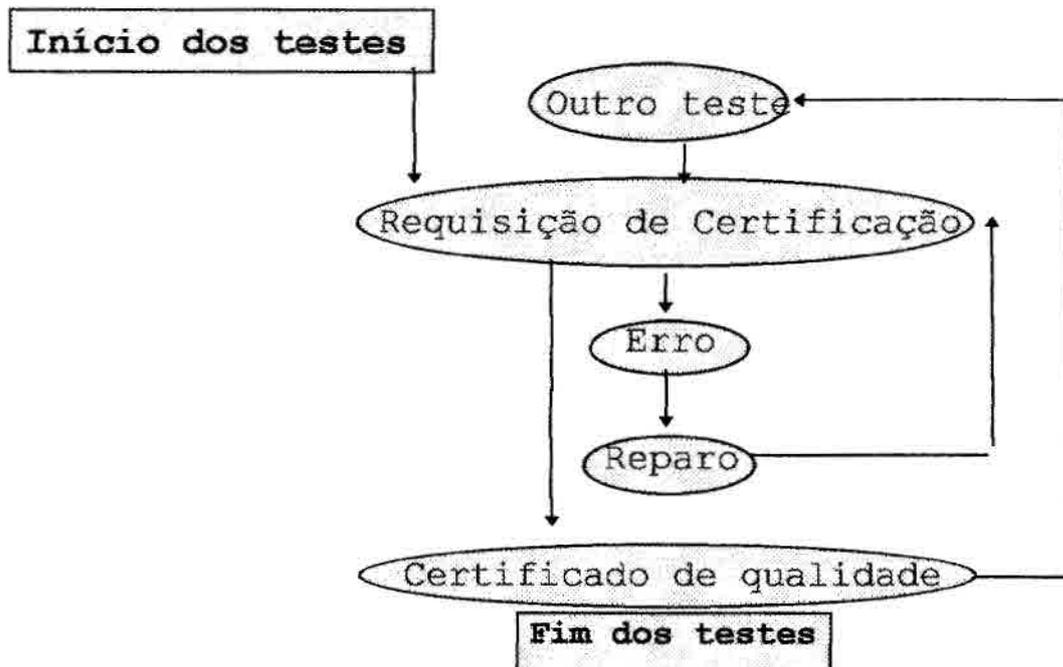


fig. 3.1 - Diagrama do processo de requisição de certificado de qualidade, que se exigirá, para que o sensor tenha uma confiabilidade maior durante seu ciclo de trabalho.

O sensor será fabricado em **alumínio**, pois este material possui boas propriedades mecânicas, além do mesmo já se encontrar no almocharifado do INPE. Com isso, evita-se um sério problema, que é o **custo de projeto**. Outro fator importante pela escolha do alumínio, é o problema do mesmo precisar ser leve.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Todo o detalhamento da parte mecânica já está dimensionado, e tudo se encontra nos desenhos técnicos.

No momento só fica a faltar dimensionar a parte eletrônica, mas que não são de suma importância neste presente relatório.

Todos os detalhes estão sendo colocados nos desenhos técnicos. Procurou-se projetar peças o mais simples possível, para que a montagem não seja de difícil compreensão, (sem que se fuja das necessidades que ele vai precisar), e para que se tenha uma boa interpretação do objetivo de cada detalhe, pois isto é necessário.

De acordo com os detalhes do sensor, viu-se a necessidade de se dar uma forma *cilíndrica* a ele, para que o mesmo não possa afetar muito na trajetória do foguete. E assim o equilíbrio seja quase perfeito.

Modificações podem ser discutidas, mas é preciso não fugir das restrições de que o sensor exigirá durante todo processo, pois isto já foi pesquisado.

5 - DESENHO

A **fig. 5.1** ilustra o esquema geral do sensor com todas as suas peças montadas, para se ter uma idéia do formato final do mesmo, e se compreender a função de cada parte.

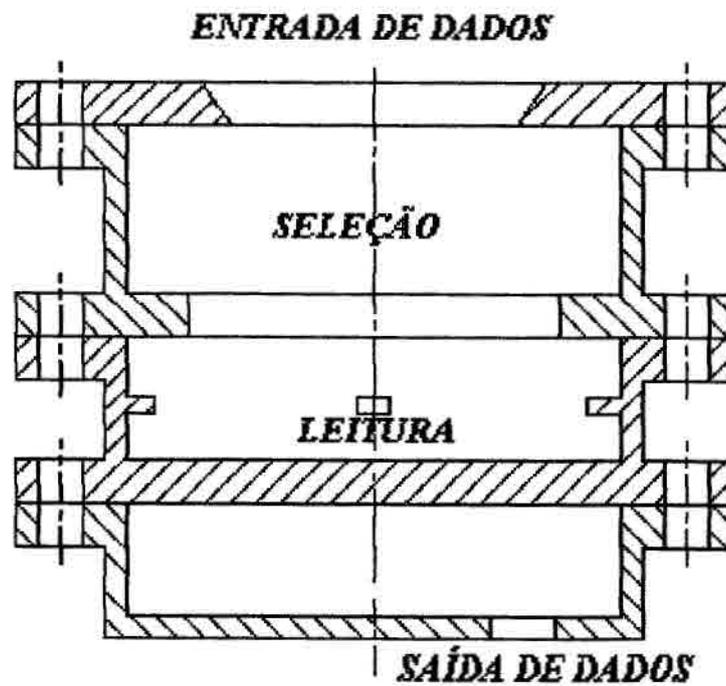


fig. 5.1 - Desenho do conjunto, visto de corte

Este sensor foi separado em **cinco alojamentos**. A seguir está um pequeno esboço delas, para se ter uma idéia do interior de cada um. Para simplificar, achou-se necessário colocar suas vistas em corte. Os demais detalhes como a situação dos furos poderá ser vista no desenho técnico.

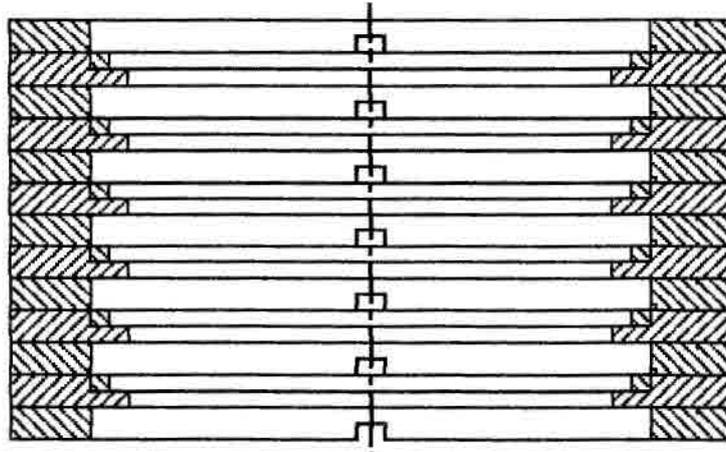


fig. 5.2 - Alojamento das grades. Serão discos de fibra de vidro, com amortecimento através de discos de borracha.

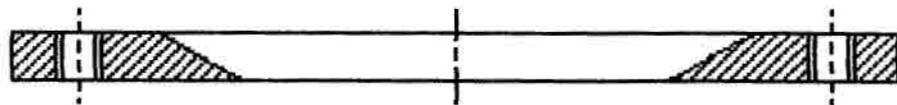


fig. 5.3 - Tampa do sensor. É nela onde se fará a entrada de elétrons.

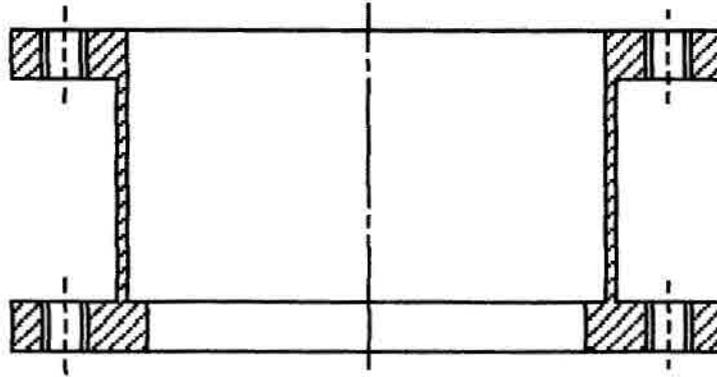


fig. 5.4 - Compartimento do alojamento das grades. Onde haverá a seleção dos elétrons para serem coletados pela placa capacitiva.

A placa capacitiva é de fundamental importância. Pois é nela em que se armazenará os elétrons (ions) para serem codificados pela placa de circuito impresso, e então, serem mandados para a caixa principal (responsável pela transmissão dos dados pelo sistema de telemetria).

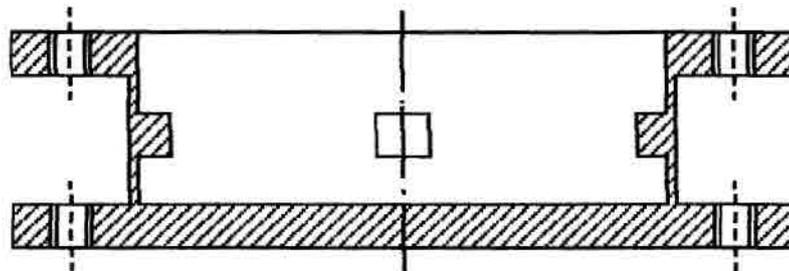


fig. 5.5 - Local onde serão armazenados e codificados os dados selecionados pela placa capacitiva. Alojamento da placa capacitiva e da placa de circuito impresso 2.

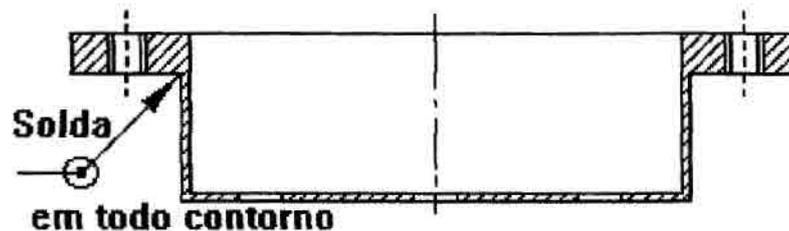


fig. 5.6 - Alojamento da placa de circuito impresso 2 e do conector subminiatura do tipo "D", responsável pela transmissão dos dados para a caixa principal.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÃO

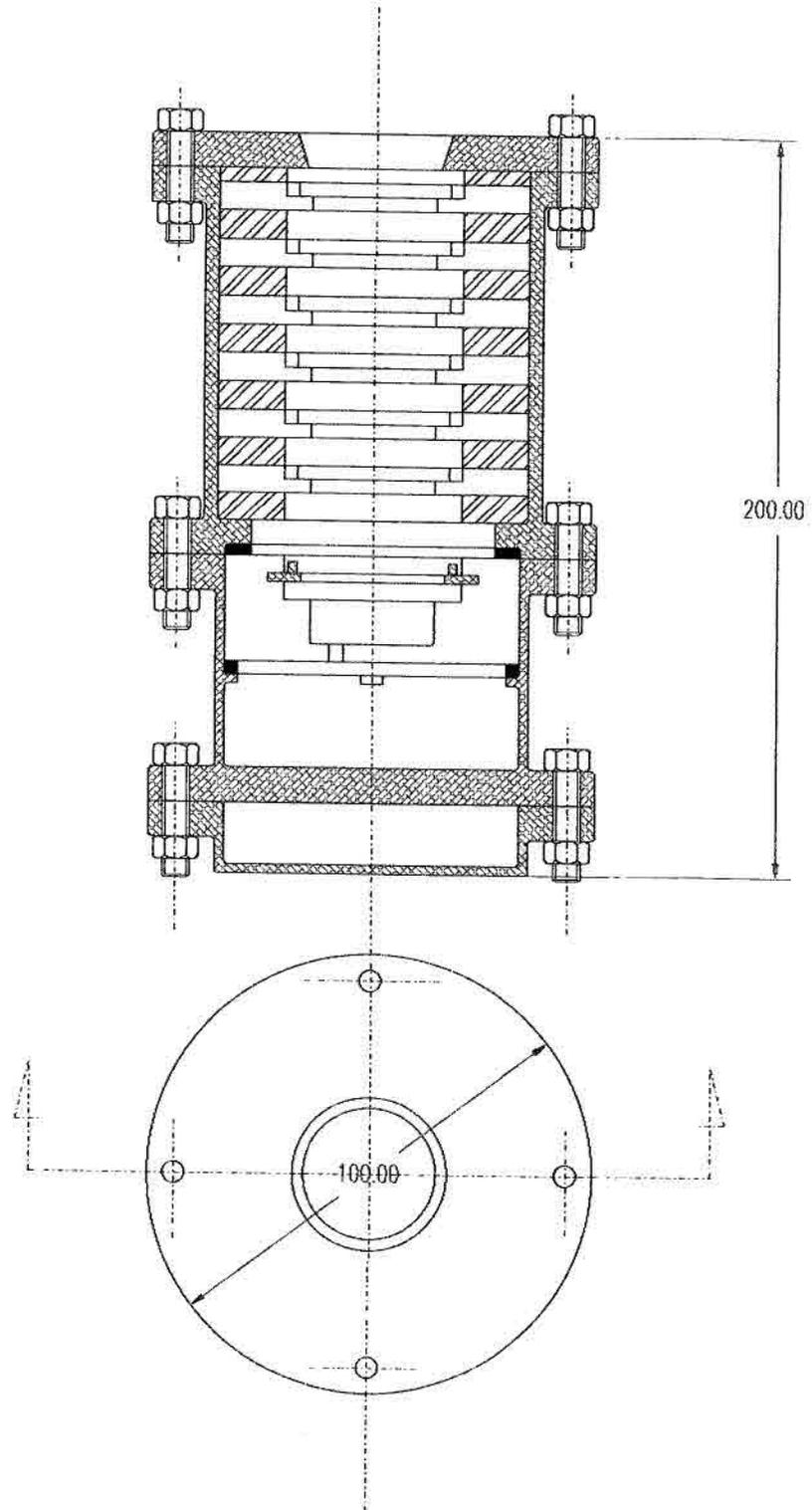
Até o presente momento pode-se dizer que esta primeira fase do experimento está terminada.

Pode-se partir para a parte da *confecção* do sensor em si, para que posteriormente possa ser feito os *testes* necessários em sua estrutura.

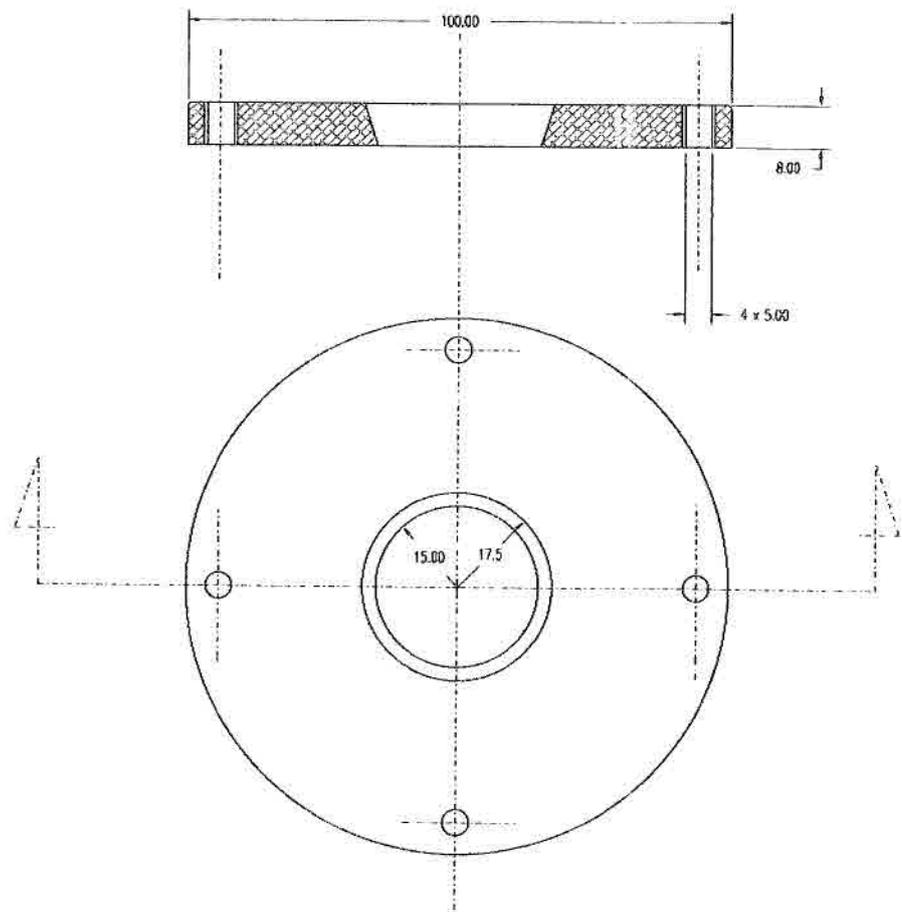
ANEXO 1

DESENHOS TÉCNICOS DO SISTEMA

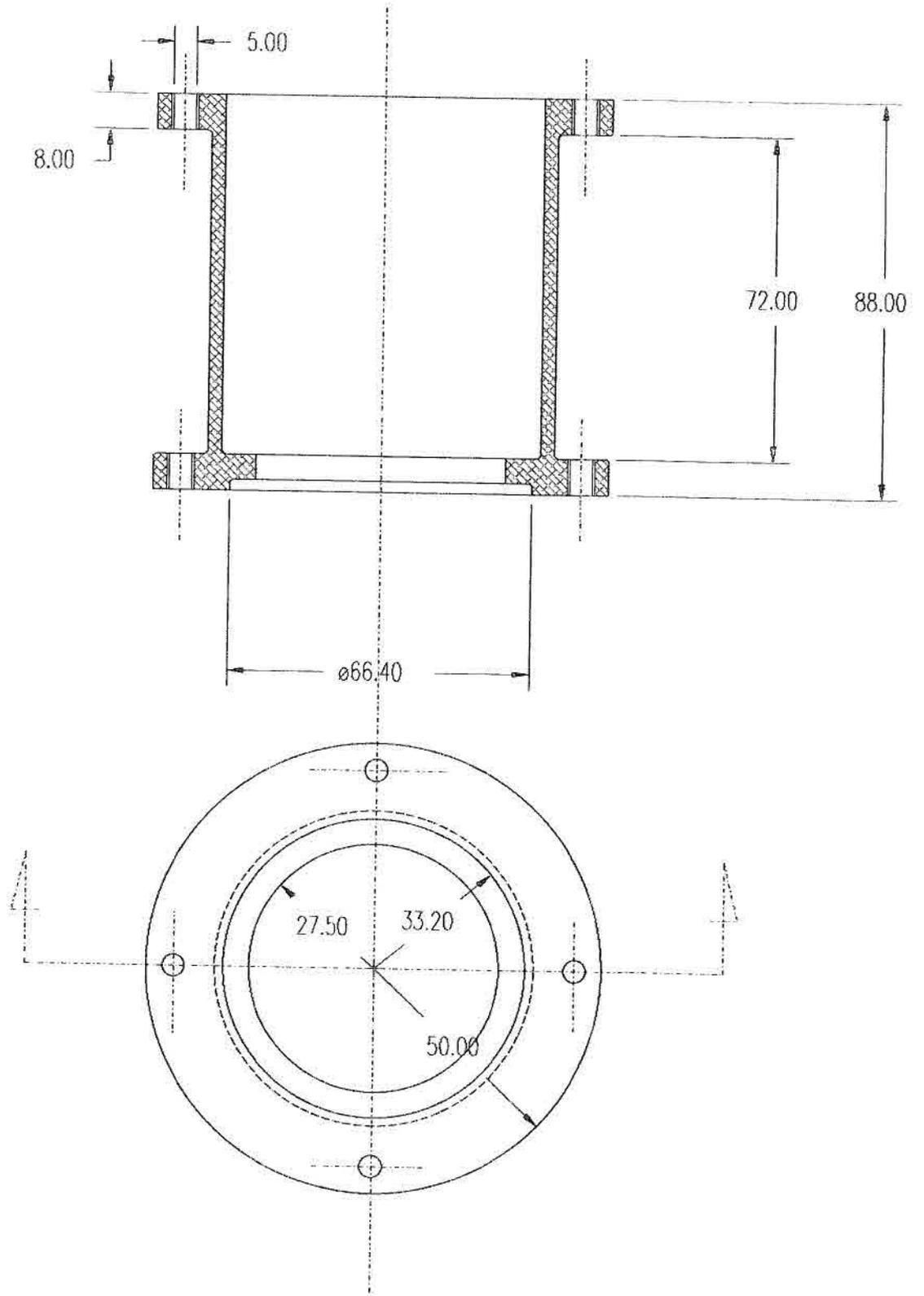
CONJUNTO



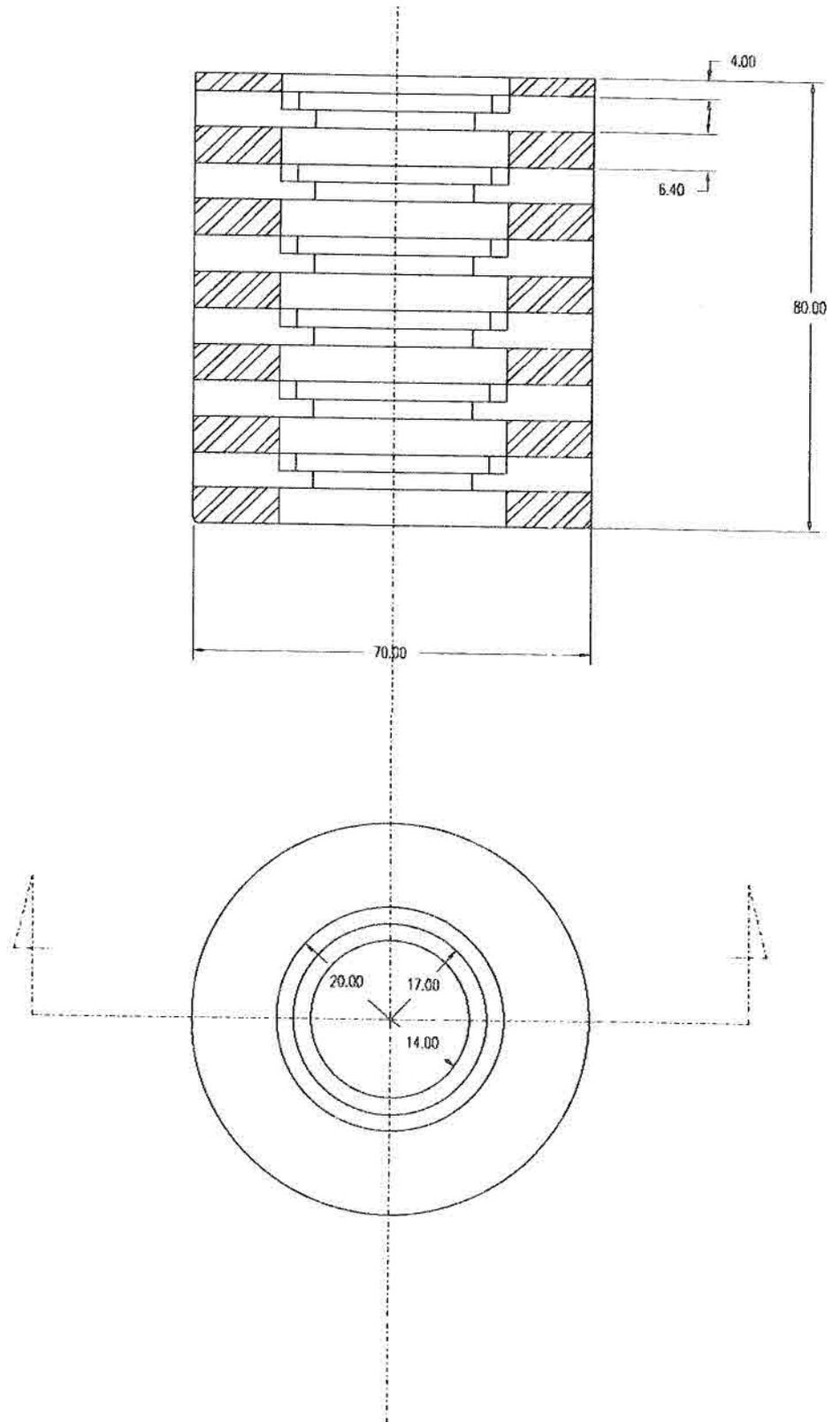
TAMPA



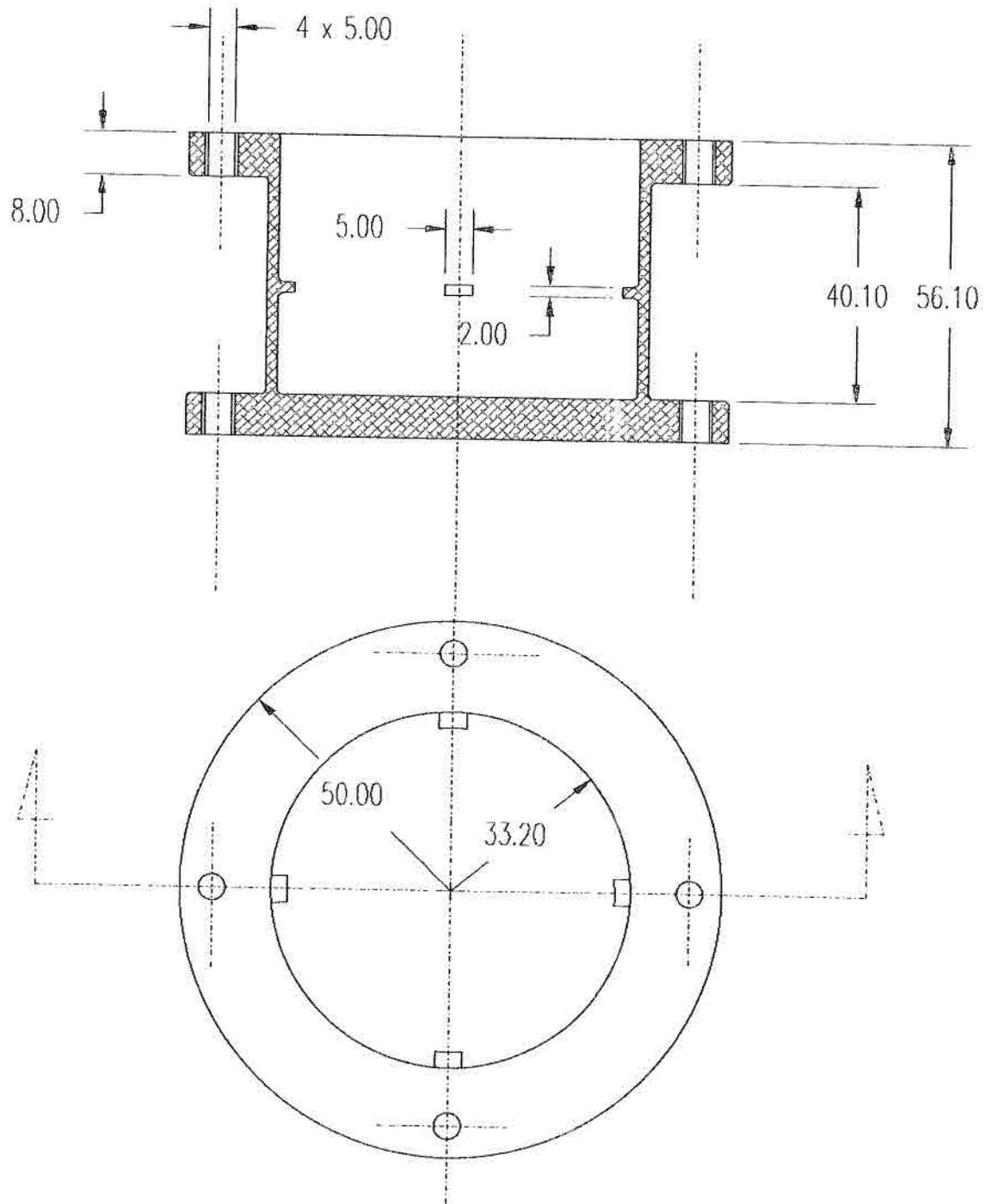
COMPARTIMENTO DO ALOJAMENTO DAS GRADES



ALOJAMENTO DAS GRADES



**ALOJAMENTO DA PLACA CAPACITIVA E DA PLACA
DE CIRCUITO IMPRESSO 1**



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- WHITTEN, H.G. Planetary Environments Branch. I.G. POPPOFF, *Space Science Division. FUNDAMENTALS OF AERONOMY. Ames Research Center National Aeronautics and Space Administration - 1971.*
- RATCLIFFE, J.A. **An Introduction to the Ionosphere and Magnetosphere.** *Cambridge at the University Press - 1972.*
- VOLKER, W.J.H. **Curso de Aeronomia básica.** KIRCHHOFF. *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) - Dezembro 1978.*
- VOLKER, W.J.H. **Introdução à Geofísica Espacial.** KIRCHHOFF. *Editora da Universidade de São Paulo. FAPESP - 1991.*
- SOUZA, J. R. **Estudo do Conteúdo Total Ionosférico.** *Dissertação de Mestrado em Ciência Espacial/ Geofísica Espacial. Março 1992.*
- BITTENCOURT, J. A. **Física da Ionosfera.** *Relatório nº. INPE-1191-NTE/111. Janeiro de 1978.*

