



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INICIAÇÃO CIENTÍFICA (CNPq / PIBIC)
RELATÓRIO FINAL (FASE II)

SENSOR R.P.A.
RETARDING POTENTIAL
ANALYSER

Elaborado por: **Leandro Paulino Vieira**

Orientador: **Prof. Doutor Polinaya Muralikrishna**

INPE

São José dos Campos
junho de 1997

APRESENTAÇÃO

O trabalho aqui apresentado nesta segunda fase tem como finalidade analisar mais a fundo os componentes que formam o sistema **Sensor R.P.A.**

Esta carga útil é do tipo coletor de partículas. Ele fará medidas no meio ionosférico a bordo do foguete Sonda III.

Este projeto é importante porque é através dele 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 de elétrons e íons nas predeterminadas faixas de energia, que existem na ionosfera terrestre. Também se irá medir o fluxo de elétrons “suprathermais” na região da anomalia geomagnética (ionosfera equatorial). Em seguida será feita a análise desses dados.

Na primeira fase deste trabalho foi desenvolvido o projeto do sistema mecânico, que poderá estar a bordo de foguetes ou satélites.

PREFÁCIO

A carga útil R.P.A. (Retarding Potential Analyser–Analisador de Potencial Retardante) é um experimento sendo desenvolvido na Divisão de Aeronomia (DAE) 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 são escolhidos então usando esse 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
<i>INTRODUÇÃO</i> _____	7
1.1 - IONOSFERA _____	7
• INSTABILIDADES DE PLASMA _____	9
• SPREAD - F _____	10
• ELETROJATO EQUATORIAL _____	11
1.2 - SENSOR R.P.A. _____	13
• PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO _____	15
• PRÉ-REQUISITOS E CONSIDERAÇÕES GERAIS _____	16
1.3 - BAÍA DE INSTRUMENTAÇÃO _____	17
<i>ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO</i> _____	18
2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SENSOR R.P.A. _____	18
2.2 - SUBDIVISÕES DO SENSOR R.P.A. _____	20

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	22
3.1 - DESCRIÇÃO	22
3.2 - PROJETO DO SENSOR R.P.A.	27
• MATERIAIS	28
3.3 - VIBRAÇÃO	29
• ENSAIOS DE VIBRAÇÃO	31
3.4 - FABRICAÇÃO DO SENSOR R.P.A.	33
• PROCESSOS DE MONTAGEM	34
3.5 - FIXADORES	35
• PARA A PARTE MECÂNICA DO SENSOR	35
• PARA AS PLACAS INTERNAS	36
3.6 - FERRAMENTAS	36
3.7 - TESTES DE CERTIFICAÇÃO	37
3.8 - TRANSMISSÃO DOS DADOS PELO SISTEMA DE TELEMETRIA	38

• COMUTADOR PCM _____	38
<i>RESULTADOS</i> _____	41
<i>CONCLUSÃO</i> _____	42
<i>APÊNDICE A</i> _____	43
<i>APÊNDICE B</i> _____	45
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> _____	59

INTRODUÇÃO

A Divisão de Aeronomia (DAE) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em colaboração com o Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), tem realizado pesquisas da alta atmosfera e da ionosfera utilizando os foguetes SONDA II e SONDA III desenvolvidos pelo IAE. Através desta colaboração, já foram lançados com sucesso diversos experimentos.

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 recombina. 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.

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.

“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.

• 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.

• 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 nas 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 são flutuações da densidade de grande escala.

Hoje se sabe que as bolhas ionosféricas são formadas em baixas latitudes, mais frequentemente no Equador Magnético. Quando um sinal emitido encontra uma bolha, o mesmo irá penetrar nela. Ela não conseguirá sair, porque no interior da Bolha há irregularidades do plasma. O sinal emitido sofre uma interferência no interior da bolha, fazendo com que o sinal não chegue ao seu destino. Diante desta situação fica impossibilitada a comunicação entre dois pontos do globo terrestre.

• 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, 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 disso que se trata o presente relatório.

1.2 - 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 **R.P.A.** será usado para realizar medidas de distribuição em energia de elétrons na ionosfera. Tem 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, 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 posterior lançamento a bordo de um satélite científico.

O experimento visa medir o fluxo de elétrons com energia entre 2.5 eV e 80 eV. As seis 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 ânodo 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.

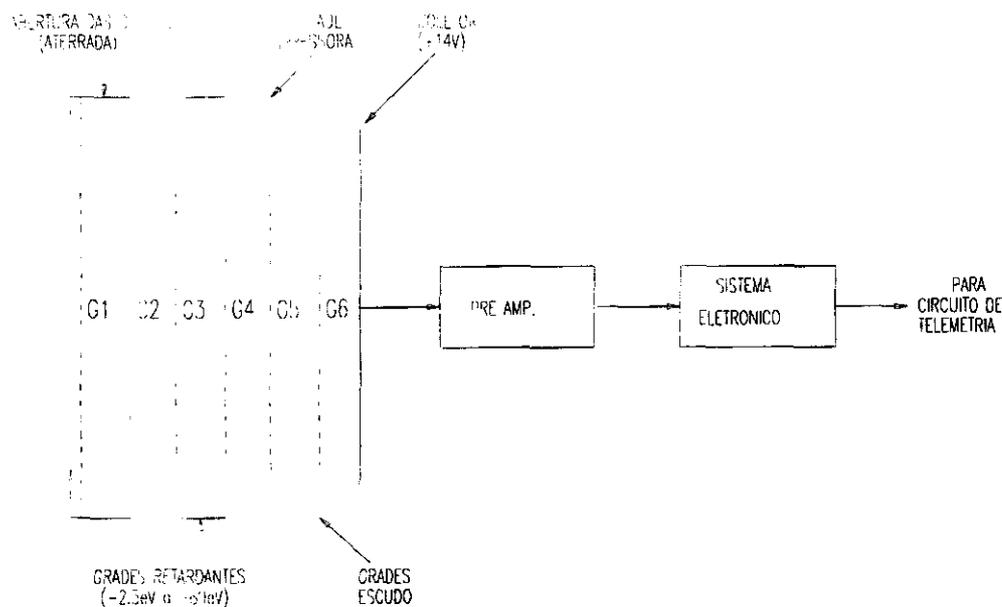


fig. 1.4 - Diagrama que mostra o princípio básico de um Analisador de Potencial Retardante.

O sensor foi projetado seguindo os seguintes parâmetros: 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 mais experimentos se poderá incluir num mesmo lançamento. Pois um foguete ou um satélite possui um certo limite de carga e espaço para os mesmos.

• 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.

Esses elétrons depois de selecionados, serão coletados por uma placa capacitiva (coletor de partículas ou anodo). É nesta “placa coletora” que os elétrons/íons 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 e transmiti-los a uma caixa principal (saída de dados)

denominada do inglês “main box”. 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. O sistema de telemetria será descrito mais adiante.

• PRÉ-REQUISITOS E CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na primeira fase do projeto foi concluído um estudo da montagem geral do experimento e o desenvolvimento dos detalhes das partes mecânicas do mesmo.

Os pontos mais importantes que foram considerados, 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 R12 for Windows. Isso agilizou muito a conclusão deste projeto.

1.3 - 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.

ANÁLISE DO MATERIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SENSOR R.P.A.

As grades retardantes precisam ficar isoladas entre si. Pois no momento de sua atuação, uma grade não pode interferir no potencial de outra grade, durante o processo de lançamento e atuação. O posicionamento delas também é muito importante.

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 se isto ocorrer o sensor poderá ser gravemente danificado. Isto ocorre devido ao fenômeno da ressonância.

Essa ressonância pode ser difícil de ocorrer, mas, poderão surgir vibrações que são harmônicas ou sub-harmônicas da frequência natural do sistema. Todas as vibrações em frequências harmônicas e sub-harmônicas farão com que os dados fiquem incorretos e não confiáveis.

Só para se ter uma idéia da amplificação de vibração que poderá ocorrer, num caso de anomalia, pode-se compará-la à eq. 2.1, e sua respectiva forma de onda, na **fig. 2.1**. É uma vibração, que através do

tempo irá aumentar excessivamente. Teoricamente se chega até o infinito, mas praticamente, antes que se chegue ao infinito, o sensor já foi totalmente destruído. O valor infinito na prática diz respeito a um valor bastante alto com relação a um valor normal.

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

eq. 2.1 - Equação que representa a vibração de ressonância, ocasionada pela vibração de ressonância que poderá ocorrer.

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).

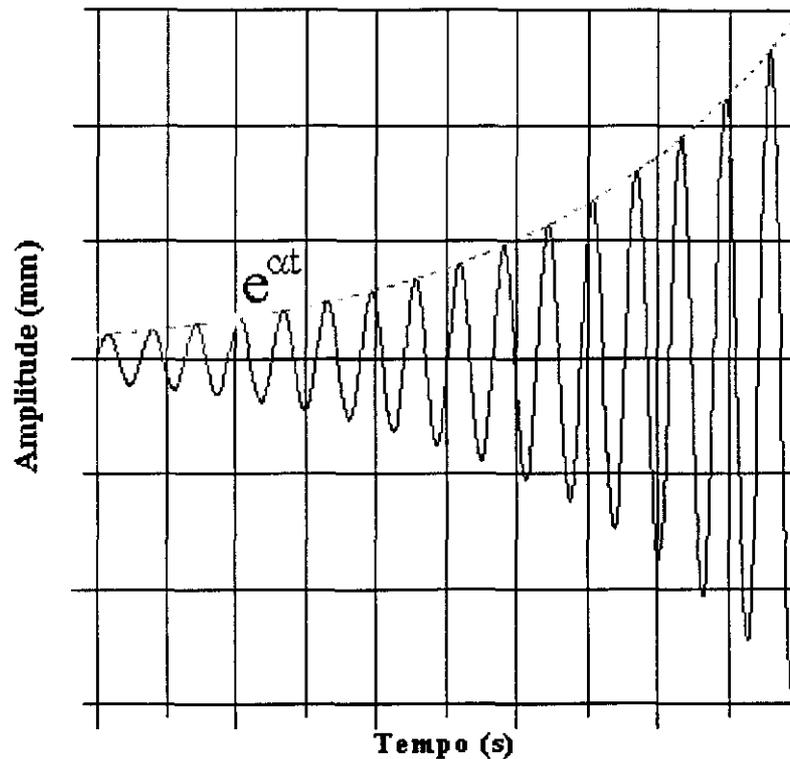


fig. 2.1 - Diagrama da possível forma de onda gerada pelo sinal da vibração de ressonância. Quando a frequência do sinal da vibração for igual ou aproximado da frequência natural da estrutura mecânica do experimento.

2.2 - SUBDIVISÕES DO SENSOR R.P.A.

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

- (i) Orifício: 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: Esta parte se encarregará de enviar todos os dados colhidos para o circuito de telemetria e telecomando.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1 - DESCRIÇÃO

Abaixo, pode-se encontrar os croquis das várias peças que compõem o sensor, acopladas entre si. Para simplificar, achou-se necessário colocar suas vistas em corte.

A **fig. 5.1** ilustra o esquema geral do sensor com todas as suas peças montadas.

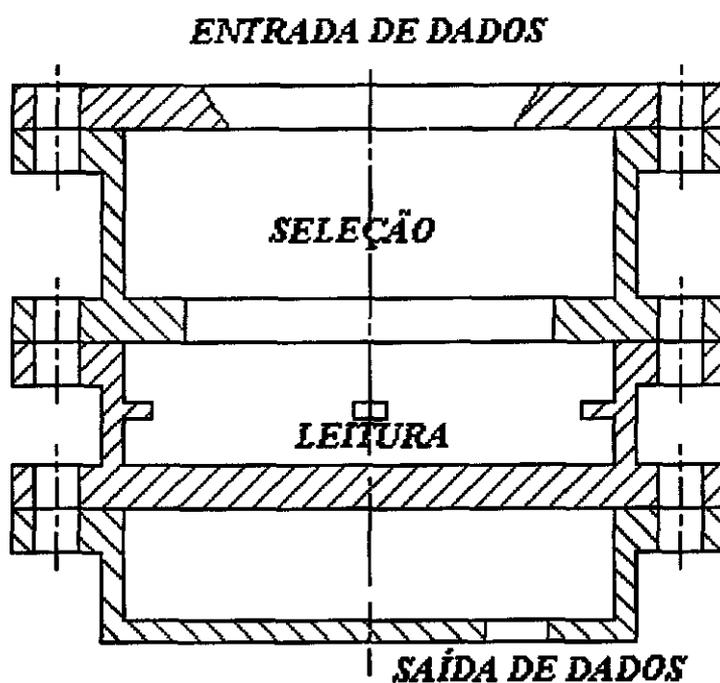


fig. 5.1 - Desenho do conjunto, visto de corte

Este sensor foi separado em cinco alojamentos. A seguir está um pequeno esboço delas. Os demais detalhes como a situação dos furos poderá ser vista no APÊNDICE B.

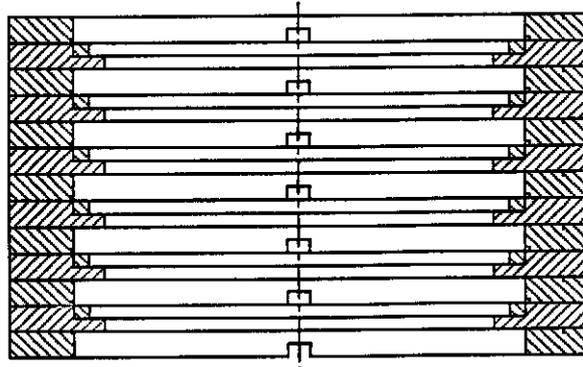


fig. 5.2 - Alojamento das grades. Serão discos de fibra de vidro, com amortecimento através de discos de borracha.



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

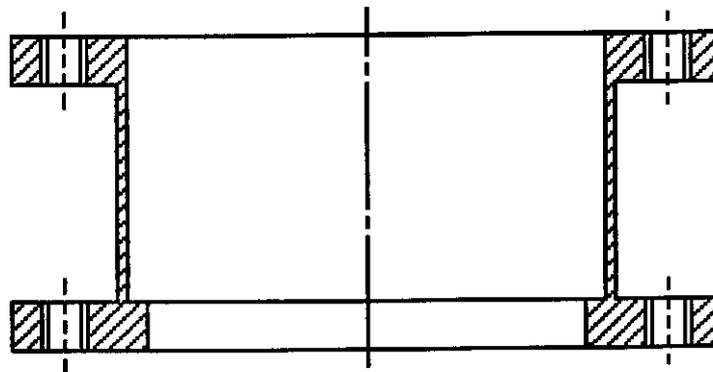


fig. 5.4 - Compartimento do alojamento das grades. Onde haverá a seleção dos elétrons para serem coletados pela placa capacitiva.

A placa capacitiva é de fundamental importância. Pois é nela em que se armazenará os elétrons (íons) 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).

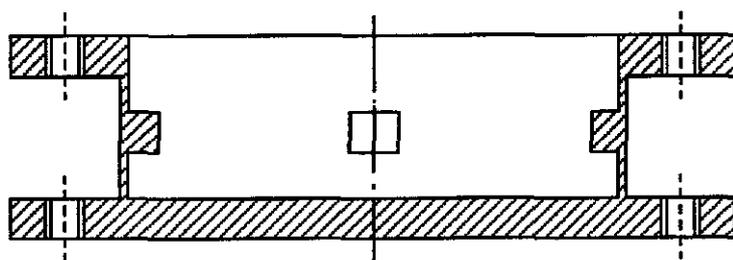


fig. 5.5 - Local onde serão armazenados e codificados os dados seleccionados pela placa capacitiva. Alojamento da placa capacitiva e da placa de circuito impresso 1.

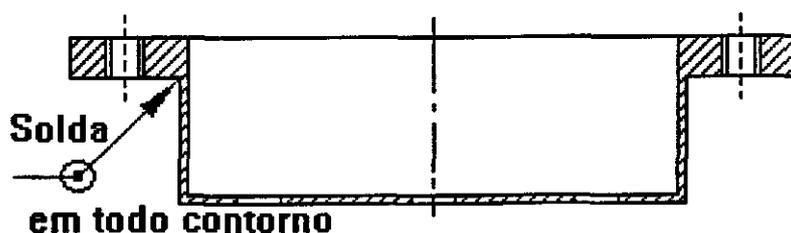


fig. 5.6 - Alojamento da placa de circuito impresso 2 e do conector subminiatura do tipo "D", responsável pela transmissão dos dados para a caixa principal.

O material adotado para a adaptação do sensor é o alumínio, que foi escolhido devido ao mesmo ser leve, resistente e barato. O alumínio é um material que satisfaz os pré-requisitos descritos, e com isso contribuirá para o sucesso do experimento. Além do mesmo já se encontrar no almoxarifado do INPE. Com isso, evita-se um sério problema, que é o custo de projeto.

Em primeiro plano, para um estudo melhor do sensor R.P.A., fez-se uma pesquisa de alguns trabalhos que dizem respeito a dados coletados na ionosfera. O objetivo dessa pesquisa foi aprender alguns dos métodos utilizados para se coletar dados. Este estudo, visou também a análise do sistema mecânico do experimento e suas possíveis configurações.

O sensor projetado está dividido em 5 partes fundamentais.

- A parte 1 (**fig. 5.3**) é a peça do sensor onde será feita a entrada dos elétrons ou íons. É tão somente um disco, provido de um orifício cônico.

- A parte 2 (**fig. 5.2**) é o alojamento das grades retardantes. São os discos de fibra de vidro, acompanhados dos discos de borracha. Esses discos de borracha servirão para amaciar a vibração durante todo o ensaio. Essa peça é muito importante, pois ela é responsável pela qualidade dos dados colhidos.

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

- A parte 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. Nesta peça estará também a placa de circuito impresso 1, responsável pela codificação dos dados selecionados.

- A parte 5 (**fig. 5.6**), é a última peça. É nela onde se alojará a placa de circuito impresso 2 (responsável pela 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 circuito de telemetria deste lançamento estará num lugar separado e será comun a todos os experimentos que estarão a bordo.

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.

Todos os elementos fixadores mencionados deverão ser de aço inox, porque o mesmo possui boas propriedades para este fim.

Este sensor deverá entrar em funcionamento a uma altura elevada. Essa altura vem a ser onde se encontra a região ionosférica do

nosso interesse. Até o primeiro instante foi planejado que o sensor poderá 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.

A isolação de cada uma das seis grades, é um fator muito importante. Pois poderá haver interferências (ruídos) provido dos potenciais aplicados em cada uma. Tais ruídos poderão ocorrer devido às vibrações e ao fluxo de partículas que no momento de seu funcionamento incidirão 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, para que o fluxo não interfira nos dados coletados. E assim a posterior análise desses dados poderá ser mais confiável.

Como fator de isolamento, foi projetado um alojamento para as grades. Elas serão introduzidas na peça de seleção (fig. 5.4).

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 no projeto do sensor, devido a dilatação térmica do material, diante da variação da temperatura).

• MATERIAIS

O alumínio, como já foi dito, será o material usado para fabricar as peças externas.

Para se realizar o estudo da ionosfera através dos elétrons/ions presentes na mesma, foi estudado que é preciso um total de 6 (seis) grades retardantes para selecionar a faixa necessária para o estudo.

As 6 (seis) grades serão fixadas em discos isolantes, que serão de fibra de vidro. A fixação das grades nos discos será feita através da introdução de anéis de alumínio. Isto facilitará a montagem.

Como os discos de fibra de vidro são frágeis, exigem a existência de discos de borracha. Estes discos tem como características: serem ótimos isolantes elétricos (para que os potenciais das grades não interfiram entre si); possuem um alto coeficiente de amortecimento.

A saída de dados será transferida através de um conector retangular subminiatura do tipo "D"(25 pinos).

Todas estas partes possuem uma peça correspondente, onde se alojarão os componentes responsáveis pelo experimento em si. Elas estão melhor detalhados no APÊNDICE B.

As partes que compõem o sensor, possuem interligamento através de parafusos de cabeça sextavada. Estas peças deverão ter cantos arredondados, para evitar concentrações de tensões ou um possível rompimento da estrutura.

3.3 - VIBRAÇÃO

Será acoplado ao sensor amortecedores, procurando fazer com que a vibração proveniente, 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, farão com que o sistema não vibre numa frequência muito alta.

A ressonância é de fato um grande obstáculo. Isto pode ser melhor entendido com a analogia ao seguinte esquema.

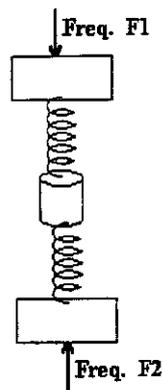


fig. 3.1 - O presente diagrama mostra uma analogia à estrutura mecânica do sensor quando em funcionamento.

Imagine, que os dois blocos extremos, estejam sendo colocados sobre uma vibração de alta frequência. Durante este processo de vibração, as molas farão o papel de fazer com que o pequeno cilindro vibre numa frequência menor do que a que está sendo aplicada nos extremos.

Os pontos vulneráveis (onde devem ser colocados os acelerômetros) está descrito no APÊNDICE A.

• ENSAIOS DE VIBRAÇÃO

As tabelas abaixo mostram os níveis de vibração para ensaios senoidais e para ensaios aleatórios:

FAIXA DE FREQUÊNCIA(Hz)	DIREÇÃO	
	LONGITUDINAL (Z) & LATERAL (X,Y)	
	Qualificação	Reduzido
5 - 20	0,1499g	1,27mm(pp)
20 - 24	0,1499g	1g
24 - 110	2,3g	1g
110 - 800	5,25g	1g
800 - 2000	15,0g	1g
VELOCIDADE DE VARREDURA	4 (oit / min)	2 (oit / min)

Tabela 3.1 - Níveis de vibração para ensaios senoidais.

FAIXA DE FREQUÊNCIA (Hz)	DIREÇÃO	
	LONGITUDINAL (Z) & LATERAL (X,Y)	
	Qualificação	
20 - 1000	1,8 dB/oit	
1000 - 2000	0,23 g ² / Hz	
Nível global	19,3 gRMS	
Duração	10 segundos / eixo	

Tabela 3.2 - Níveis de vibração para ensaios aleatórios.

Os ensaios de vibração nos dois Módulos do Experimento serão executados conforme as especificações apresentadas nas tabelas 3.1 e 3.2,

que tiveram como referência os dados contidos no FAX NASA/GSFC/WFF de 20/09/94.

Os meios de ensaio que serão utilizados são:

- Sistema de Vibração
 - Vibrador V964LS - 80kN;
 - Mesa transversal KI7100-36-2.

- Controlador / Analisador
 - GENRAD 2514 (Controle)
 - GENRAD 2515 (Aquisição / Análise de dados)

- Acelerômetros
 - Tipo piezoelétrico, marca Endevco.

- Ampliadores de Carga
 - Modelo 2721B - Endevco (controle);
 - Modelo 2781.11 - Endevco MAC SYSTEM (medida)

- Ferramental
 - Kit de ferramentas;
 - Torquímetros

- Interface de teste

Para a montagem dos espécimes sobre a bobina móvel ou sobre a mesa transversal, será utilizado um adaptador em forma de disco, fabricado em alumínio, que normalmente é utilizado para ensaios em subsistemas dos satélites da MECB.

3.4 - FABRICAÇÃO DO SENSOR R.P.A.

Essas peças serão usinadas de acordo com as especificações dos desenhos técnicos elaborados.

As peças poderão ser usinadas por meio de tornos, fresas ou em máquinas CNC. Se for necessário usar a retífica para acabamento.

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

Antes da fabricação, os desenhos deverão ser aprovados. No presente momento, os desenhos técnicos elaborados pelo AutoCAD já foram enviados para a área de mecânica.

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

• PROCESSOS DE MONTAGEM

Segundo foi estudado, 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.

Temos a seguir a listagem de todas as peças com suas respectivas especificações (nº que está nos documentos feitos pelo Software AutoCAD R12), incluindo o material e quantidade.

Nº.	NOME	MATERIAL	QT.
DC - 01.00.000 *	Desenho do conjunto do sistema Sensor R.P.A.	Alumínio (peças circulares externas) / Fibra de Vidro (no caso dos discos das grades)	1
DD - 01.00.001 **	Desenho da Tampa Coletora	Alumínio	1
DD - 01.00.002	Desenho do alojamento dos discos de fibra	Alumínio	1
DD - 01.00.003	O-ring superior dos discos de fibra	Alumínio	1
DD - 01.00.004	Placa alojadora das grades	Alumínio	6
DD - 01.00.005	Alojamento da placa coletora e da placa de circuito impresso 1	Alumínio	1
DD - 01.00.006	Alojamento do circ. de Telemetria	Alumínio	1
DD - 01.00.010	O-ring dos parafusos fixadores	Alumínio	12
DD - 01.00.011	Alojamento da placa coletora	Alumínio	1
DD - 01.00.012	O-ring do alojamento da placa coletora	Alumínio	2
DD - 01.00.013	Placa coletora (ou capacitiva)	Alumínio	1
DD - 01.00.014	Anel fixador da placa capacitiva	Alumínio	1
DD - 01.00.015	O-ring dos discos de fibra	Alumínio	6
DD - 01.00.016	Anel fixador das grades nos discos de fibra	Alumínio	6

Tabela 3.3 - Codificações usadas para separar as peças.

* - Desenho do Conjunto

** - Desenho de Detalhe

Obs.: Os desenhos de detalhe 7, 8 e 9 não foram desenhados e documentados devido a serem fixadores padronizados.

As grades retardantes devem estar bem esticadas sobre os discos, para que não haja o perigo de flambagem durante seu percurso. Isso poderá ser resolvido colocando-se pinos guia por entre os discos de fibra. Tais pinos estarão revestidos de borracha para um melhor fixamento, e também pelo fato dos discos serem de material frágil (passíveis de rachadura). Todas essas coisas serão discutidas após a fabricação das peças.

3.5 - FIXADORES

• PARA A PARTE MECÂNICA DO SENSOR

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

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

Será usado porcas para os parafusos fixantes do sensor, pois não haverá roscas nos furos. Furos com roscas facilitaria o rachamento de partes do sensor durante a sua atuação.

Todas as partes fixantes terão duas arruelas de borracha. Com isso serão 24 pequenos discos de borracha, sendo 12 como amortecimento para os parafusos e 12 para as porcas.

• PARA AS PLACAS INTERNAS

Para a placa capacitiva se convencionou inserir 3 (três) fixadores. No momento não é conhecida a especificação da placa capacitiva.

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 ainda mais 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.

3.6 - FERRAMENTAS

As ferramentas básicas que poderão ser 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.

3.7 - 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 na estrutura mecânica que poderá 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 com a vibração do foguete (pontos críticos).

Os acelerômetros são dispositivos de frequência natural alta, que captarão o grau de vibração nos pontos onde serão inseridos, diante da vibração do ensaio. 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 funcionamento do sensor.

3.8 - TRANSMISSÃO DOS DADOS PELO SISTEMA DE TELEMETRIA

O sistema de telemetria, como já foi dito, estará a bordo do foguete ou satélite. Existem vários tipos de sistemas, cada uma com suas características próprias.

O sistema que será usado para este lançamento, será o sistema de telemetria PCM.

• COMUTADOR PCM

É o módulo responsável pela aquisição, conversão e formatação dos dados, fornecendo o sinal serial codificado (NRZ – BI – ϕ – L), a uma taxa de 50.000 bits por segundo ao modulador e transmissor.

O esquema a seguir mostra o diagrama de blocos para este experimento interligado ao sistema de telemetria PCM.

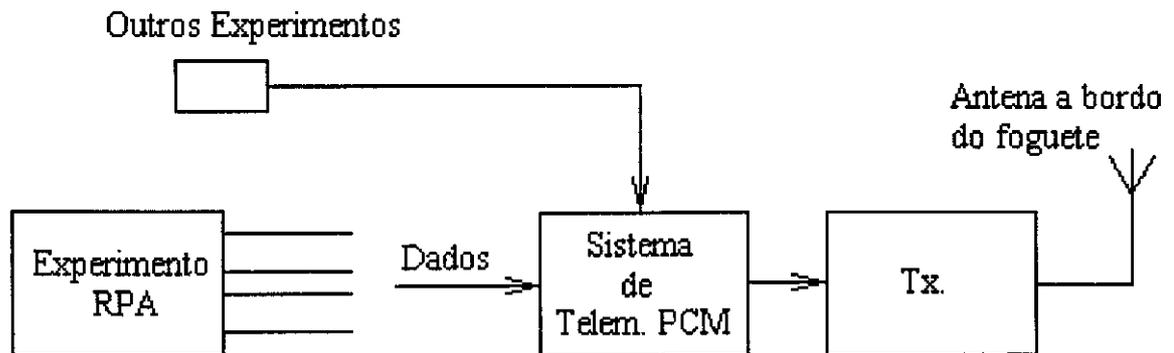


Fig. 3.2 - Diagrama de blocos do experimento interligado ao sistema de telemetria.

A cada nível de potencial aplicado sobre as grades haverá uma contagem de partículas.

Nível de Potencial	Contagem de partículas
V_1	N_1
V_2	N_2
V_3	N_3
.	.
.	.
.	.
V_n	N_n

Tabela 3.4 - Contagem de partículas na forma digital em função do nível de potencial aplicado.

RESULTADOS

Todo o detalhamento da parte mecânica já está dimensionado, e tudo se encontra no APÊNDICE B. Procurou-se projetar peças o mais simples possível, para que a montagem não seja complexa, (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.

No momento o setor de mecânica do INPE está com falta de recursos para se iniciar a fabricação deste sensor, tendo-se em vista que existem outros experimentos a espera de serem fabricados.

CONCLUSÃO

No presente momento a segunda fase está terminada. Todas as partes mecânicas estão definidas e detalhadas.

Todos os desenhos projetados pelo AutoCAD R12 já foram enviados para a área de mecânica.

Foi aberto um AS (Área de Serviço), e todos as suas peças se aprovadas serão fabricadas.

Devido a falta de recursos e de engenheiros na área de mecânica, não está sendo possível pôr em andamento a aprovação. No momento se está esperando chegar um novo engenheiro para que se possa fazer a devida aprovação.

Após o término da fabricação, serão feitos os testes necessários em sua estrutura, verificando sua reação aos diversos tipos de estímulos.

APÊNDICE A

LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES INSTALADOS NO MÓDULO

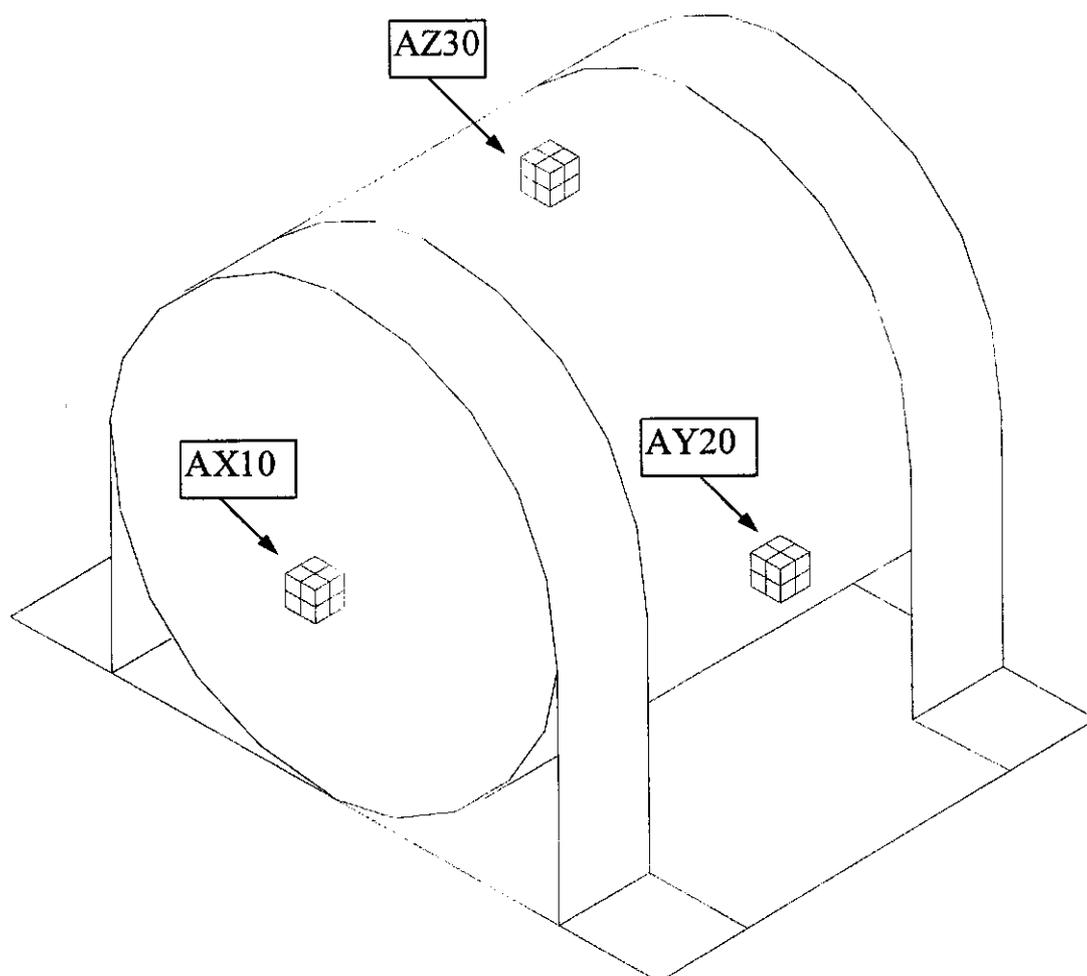
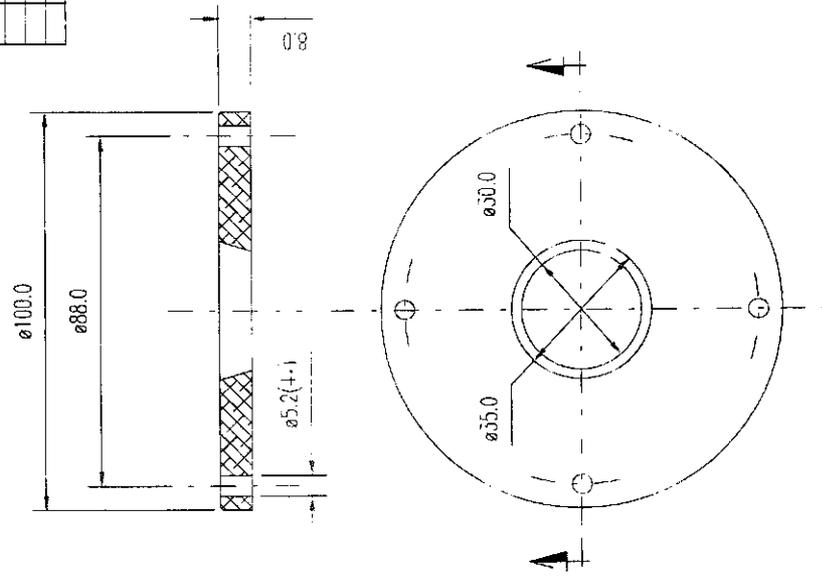


Fig. 6.1 - Sensor RPA montado em mesa vibratória (Parte Mecânica) – Localização dos acelerômetros de medida e o triedro de referência (X,Y,Z)

APÊNDICE B

DESENHO MECÂNICO DO SISTEMA

Item	Descrição	Quantidade	Valor Unit.	Valor Total
1	1000			
2	880			
3	52(+)			
4	8			
5	35.0			
6	30.0			



		PROJETO Nº 01.00.001 DATA 19/09/96	PLAN Nº 01 DATA 1 DE 1	VALOR UNIT. ± 0,1 VALOR TOTAL ± 0,1
INSTITUIÇÃO: Instituto de Engenharia e Arquitetura do Paraná ENDEREÇO: Rua...		PROJETO: Projeto de Instalação de Fluxos Térmicos DATA: 19/09/96	PLAN: 01 DATA: 1 DE 1	VALOR UNIT. ± 0,1 VALOR TOTAL ± 0,1
TÍTULO: Tampa Cofre		PROJETO: Projeto de Instalação de Fluxos Térmicos DATA: 19/09/96	PLAN: 01 DATA: 1 DE 1	VALOR UNIT. ± 0,1 VALOR TOTAL ± 0,1

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO COMANDO A
 NÃO SER REPRODUZIDO SEM A PERMISSÃO DO COMANDO A

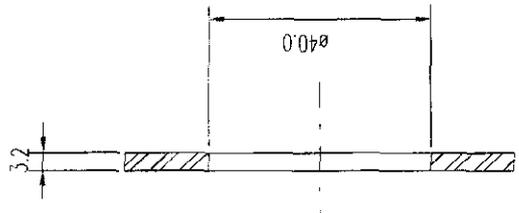
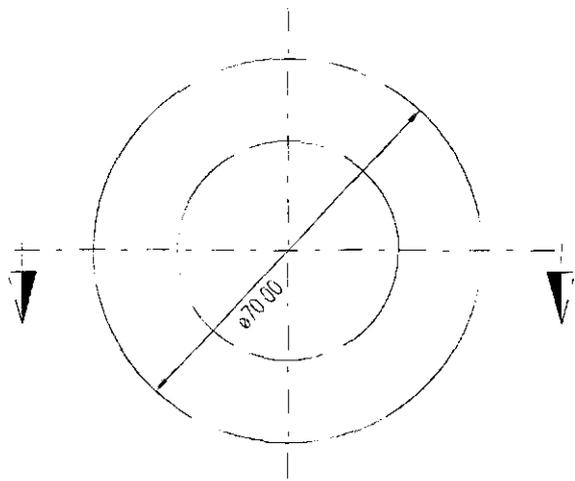
REV. 00/96

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO INPE. E NÃO PODE SER REPRODUZIDO OU COMUNICADO A TERCEIROS SEM A PERMISSÃO AUTORIZADA DO INPE.



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

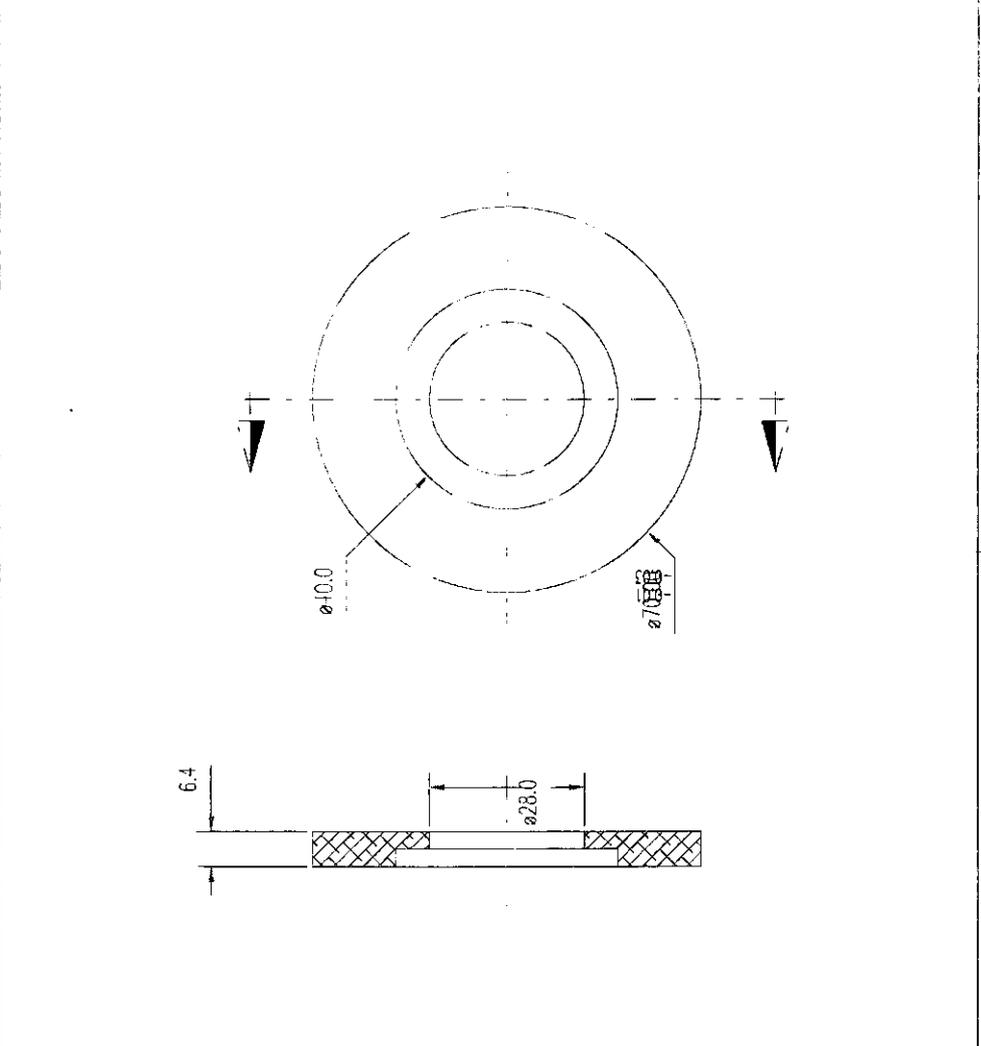
DESENHISTA	REVISOR	PROJETISTA	Nº	QUANT.	FOLHA	ESCALA
Leandro PV		Leandro PV	DD - 01.00.003	08	1 DE 1	1:1
REV. 13/07/95						
23/08/98 REVISÕES DA FOLHA						
TÍTULO: Amort. sup. p/ discos de fibra						
MATERIAIS: Borracho						
PESO	TACAS	ACABAMENTO	MP	TOLERÂNCIA GERAL		
	3/2		01.00.003	± 0,1	LINEAR	ADUJAR



APPROVAÇÃO DAS REVISÕES									
CONTROLE DE REVISÕES									
VERSÃO	FOLHA								
A	01.00.003								

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO IPEE. E NAO
 PODE SER REPRODUZIDO OU COMERCIALIZADO A
 TERCEIROS SEM A PERMISSAO AUTORIZADA DO IPEE.

		INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS DESENHISTA: Leonardo PV REVISOR: Leonardo PV DATA: 04/11/98 PROJETO: 23/08/98 REVISOR DA FOLHA: 06	
TITULO: Placa Alojadora dos Grades MATERIAL: Fibra de Vidro		N.º: 01.00.004 ESCALA: 1 DE 1	
PESO: 3,5 TOLERANCIA CERVA: ± 0,1 ANGULAR: ± 0,1		REVISOR: 01.00.004 DATA: 06	

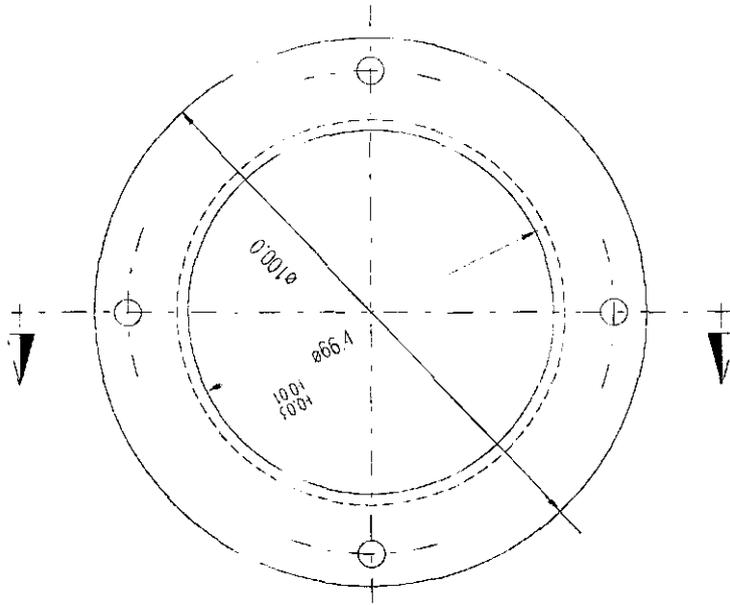


N.º DESENHO: 01.00.004 VERSAO: A FOLHA: 01 DE 01		APROVACAO DAS REVISOES CONTROL DE REVISOES	
01.00.004		01.00.004	

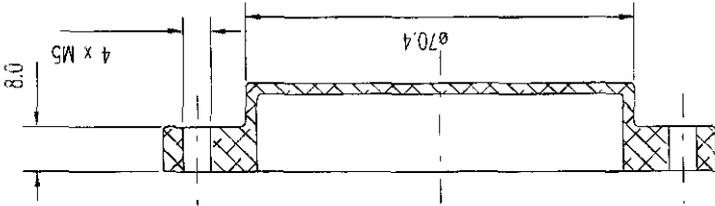
ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO INPE. E NÃO PODE SER REPRODUZIDO OU COMUNICADO A TERCEIROS SEM A PREVIA AUTORIZAÇÃO DO INPE.

REV: 13/07/95

DESENHISTA Leandro FV	REVISOR Leandro FV	PROJETA Leandro FV	N. 01	QUANT. 01	FOLHA 1 DE 1	ESCALA 1:1
TÍTULO: Aloj. do Circ. de Telemetro			MATERIAIS: Alumínio			
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais		PESO		ACAB: 32		
Nº PROJETO: 01.00.006		Nº: 01.00.006		TOLERÂNCIA GERAL		
TOLERÂNCIA ANGULAR		LINEAR		± 0,1		



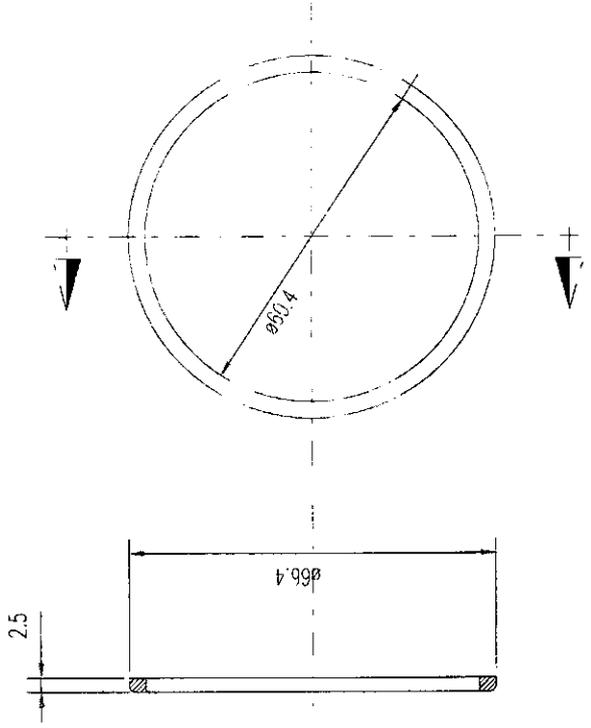
Corte A-A



N. DESENHO		01.00.006		APROVAÇÃO DAS REVISÕES	
VERSÃO		A		CONTROLE DE REVISÕES	
FOLHA		1			

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO INPE, E NAO
 PODE SER REPRODUZIDO OU COMERCIALIZADO A
 TERCEIROS SEM A PERMISSAO AUTORIZADA DO INPE.

INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS E TECNOLOGIA		REVISOR: Leandro FV		PROJETA: Leandro FV		1/11/96		REVISOR: Leandro FV		1/11/96		REVISOR: Leandro FV		1/11/96	
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS		Nº: 02 - 01.00.012		TITULO: Arruela de Amortecimento		BORRCHO		QUANT: 02		FOLHA: 1 DE 1		ESCALA: 1:1		REV: 13/07/95	
PT50		LACM: 52		TOLERANCIA DE RAIO		ANGULAR		LINEAR		± 0,1		± 0,1			

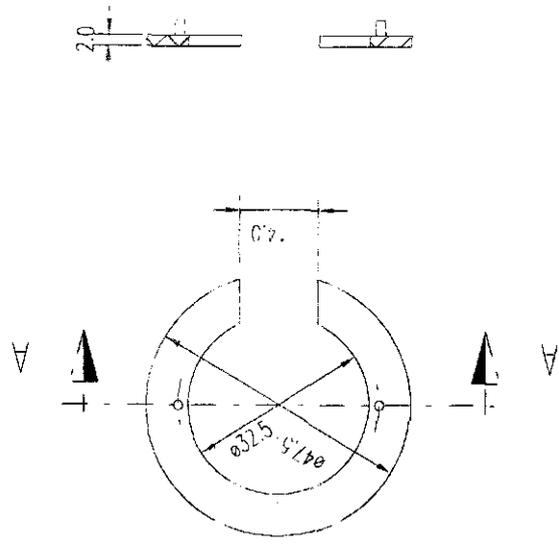


APROVACAO DAS REVISOES										CONTROLE DE REVISOES									
VERSÃO A										FOLHA									
01.00.012										01.00.012									

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO IUPER E NÃO
 PODE SER REPRODUZIDO OU TRANSMITIDO A
 TERCEIROS SEM A PERMISSÃO ANTERIOR DO IUPER.

 INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS E ESPAÇO		DESENHISTA: leandro HV REVISOR: leandro HV PROJETA: leandro HV Nº: 01.000.014	REV. 13/02/95 1/11/96 /11/96
TÍTULO: Anel fixador do Placa Cap		QUANT: 01 FOLHA: 1 DE 1 ESCALA:	REVISOR: NA FOLHA
PESO:	Nº: 01.000.014 ± 0,1	MATERIAL: Alumínio	
FOLGEM: ANGULAR LINEAR	FOLGEM: ANGULAR LINEAR		

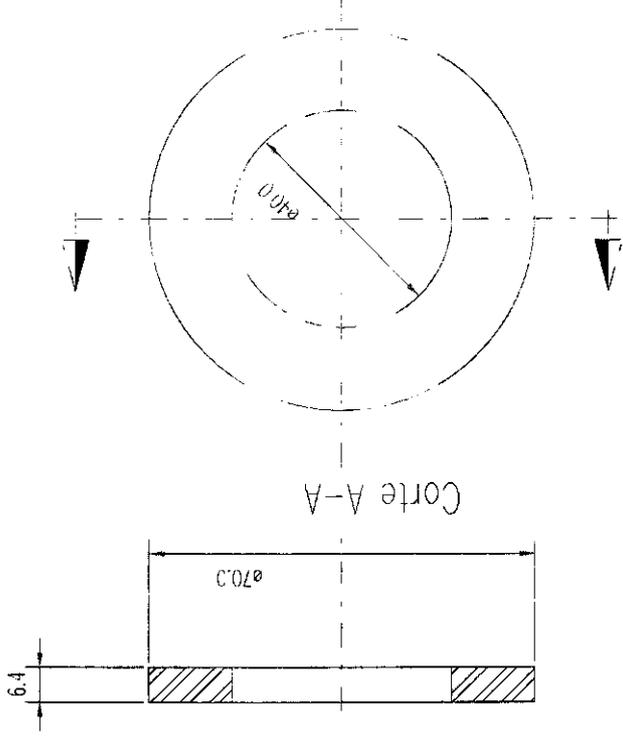
Corte A-A



APROVAÇÃO DAS REVISÕES		N.º DESENHO: 01.000.014	
FOLHA: A		VERSÃO: A	
CONTROLE DE REVISÕES		(Grid for revision control)	

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO IPEE E LADO
 PODERÁ SER REPRODUZIDO OU COPIADO SEM
 TERCEROS SEM A PERMISSÃO AUTORIZADA DO IPEE.

REV. 13/07/95		1/11/96		1/11/96	
DESENHISTA		REVISOR		PROJETA	
Leandro Fy		Leandro Fy		Leandro Fy	
QUANT.		FOLHA		ESCALA	
06		1 DE 1		1:1	
TÍTULO: Amort. dos discos de fibra					
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais					
MUNICÍPIO DA CENSA E TECNOLOGIA					
01.00.014					
TOLERANCIA GERAL					
ANGULAR					
LINEAR					
± 0,1					
± 0,1					

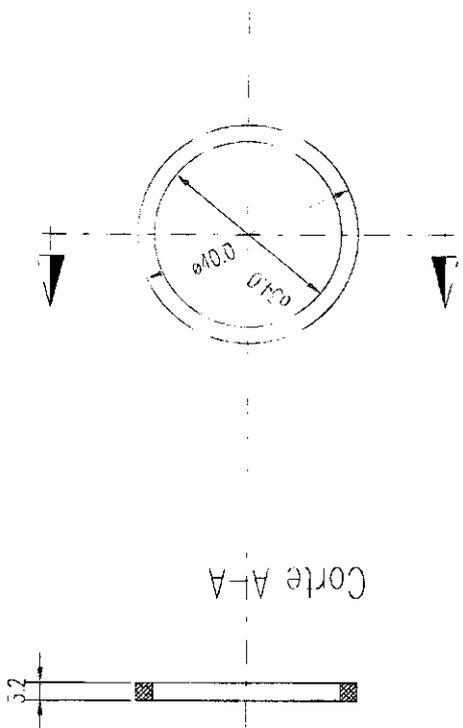


APPROVAÇÃO DAS REVISÕES									
CONTROLE DE REVISÕES									
FOLHA									
VERSÃO									
A									
01.00.014									

A2

ESTE DOCUMENTO PERTENCE AO IUPER E NÃO
 PODE SER REPRODUZIDO OU COPIADO A
 TERCEIROS SEM A PERMISSÃO AUTORIZADA DO IUPER

REV. 13/07/96		DESENHISTA Leandro PV 1/11/96		REVISOR Leandro PV 1/11/96		PROJETISTA Leandro PV 1/11/96		REVISOR DA FOLHA	
Nº		01.00.014		QUANT.		01		FOLHA	
ESCALA		1:1		1 DE		1			
TÍTULO: Anel fixador dos grades									
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPaciais									
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA									
PESO		3,2		ACAB.		3,2		TOLERÂNCIA GERAL	
NF		01.00.014		LINEAR		± 0,1		ANGULAR	
						± 0,1			



Nº DESENHO		01.00.014		APROVAÇÃO DAS REVISÕES					
VERSÃO		A		CONTROLE DE REVISÕES					
FOLHA									

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 n.º. INPE-1191-NTE/111. Janeiro de 1978.*