

# 1. Introdução

Esta dissertação se insere no contexto de um elenco de outras dissertações de mestrado e teses de doutorado, patrocinadas pelo Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE), visando os estudos para implementação e aprimoramento de novos sistemas de telemetrias de Veículos Lançadores de Satélites (VLS).

O sistema de telemetrias é implementado de forma a adquirir os dados de grandezas analógicas (tais como, temperatura, pressão, vibração, ondas sonoras) e outros de estados digitais, em um período anterior ao lançamento do VLS (Figura 1.1) e após o lançamento (Figura 1.2) em todos os estágios do voo. Este sistema deve adquirir os dados e transmiti-los para o banco de controle e a estação em terra com uma taxa de amostragem compatível com as frequências envolvidas.

Estatisticamente, mais de 90% das informações têm resposta em frequência menor que 100 *Hertz* e são denominadas frequências baixas, as demais são de frequências altas. As informações de frequências altas podem ter resposta máxima de até 1000 *Hertz*, para os canais de monitoramento de vibração, ou de dez mil *Hertz* no caso do canal de monitoramento de pressão acústica.



Figura 1.1: VLS-V01 na Plataforma de Lançamento.

Considerando-se todos os fatores físicos, mecânicos e elétricos que limitam a concepção deste sistema e o fato de que sinais de frequências baixas devem ser alocados com outros de

frequências altas, os sinais de frequências baixas são super-amostrados gerando muitas amostras redundantes.



**Figura 1. 2: VLS-V02 no início da ascensão**

O aumento da complexidade dos sistemas embarcados, particularmente na área de aquisição e processamento de dados e imagens, telecomando e controle digital tem exigido uma qualificação cada vez maior dos engenheiros de desenvolvimento, teste e homologação. Aliado a este fato, o desaparecimento de sistemas de aquisição e processamento de dados padronizados em um mercado extremamente exigente e economicamente insignificante devido à baixa demanda, tem elevado muito o seu custo (Turner, 1999).

Outra restrição, é que o sistema de aquisição e processamento de dados embarcado deve ser totalmente compatível com os equipamentos que compõem a cadeia de recepção, armazenamento e processamento de dados da estação de telemetrias do Centro de Lançamento de Alcântara (CLA), situado no estado do Maranhão, ilustrado na Figura 1.3.



**Figura 1. 3: Antena de Recepção Banda S e Estação de Telemetria**

A dificuldade para implementar esta configuração e distribuir centenas de informações em um mesmo sistema de telemetria embarcado, de forma otimizada, com baixo custo, compatível com os equipamentos de recepção e utilizando somente sistemas exclusivos de sinais digitais, motivaram a elaboração desta dissertação de mestrado.

## **1.1 Sistema de Telemetria**

O primeiro passo para a concepção do projeto da instrumentação de bordo de um sistema de telemetria é fazer uma lista preliminar de medidas de interesse dos engenheiros, projetistas e pesquisadores visando monitorar o desempenho dos seus equipamentos e dos seus respectivos subsistemas, verificar se as condições ambientais de vôo encontradas estão de acordo com as suas previsões e analisar o comportamento dinâmico da estrutura.

Normalmente a lista inicial passa por um processo exaustivo de revisão estabelecendo-se níveis de prioridades até que o número de canais seja compatível com a capacidade de aquisição do veículo em questão. Neste processo de seleção existe um critério rigoroso para que não sejam eliminadas informações importantes.

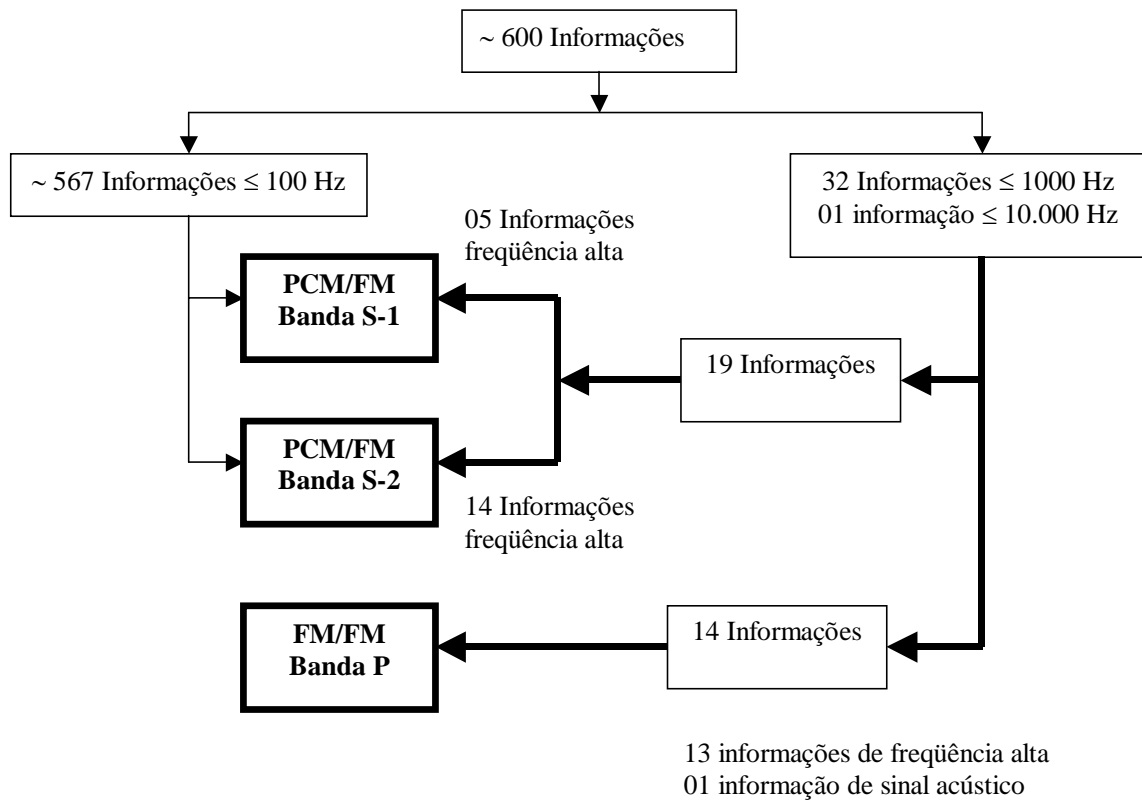
A definição de quais informações são importantes não é uma tarefa fácil e é aqui que o engenheiro de instrumentação do sistema de telemetria pode prestar um valioso serviço coordenando os diversos grupos e propondo soluções para o problema, visando elaborar uma lista otimizada das informações a serem monitoradas.

Alguns tipos de medidas desta lista são temperaturas, pressões, tensões e correntes elétricas, acelerações, vibrações e monitoramentos de separações de estágios, ignições e ativação de subsistemas do veículo. Esta lista apresenta outras informações, classificando as

medidas de acordo com a resposta em frequência, faixa dinâmica de operação para sinais analógicos e “status” do nível para sinais digitais.

Organizada a lista de medidas (Fugivara e outros, 2001, 1999, 1997) as informações são separadas em duas categorias: frequência baixa ( $< 100$  *Hertz*) e frequência alta ( $\leq 10.000$  *Hertz*). No caso do VLS, foram identificadas cerca de 600 informações sendo que 33 são de frequência alta. A distribuição das informações no sistema atualmente em uso está representada na figura 1.4.

Os sinais de frequência alta com resposta menor que 1000 *Hertz* correspondem aos sensores de vibração mecânica e o de dez mil *Hertz* ao microfone que monitora o nível acústico no ambiente em que se encontra o satélite. Adquirir o sinal do microfone é um grande desafio, pois a alta taxa de amostragem necessária, torna inviável a concepção de um sistema digital otimizado e de baixo custo.



**Figura 1.4: Distribuição das informações no sistema atual**

O sistema de telemidas concebido para o VLS foi implementado utilizando-se duas técnicas de modulação que permitiram a utilização de todos os canais disponíveis dos equipamentos comerciais e, principalmente, a distribuição dos sinais de frequências mais altas.

A primeira é uma técnica de Modulação de Frequência (*Frequency Modulation, FM*) que transforma as variações de amplitude dos sinais de entrada em variações de frequências denominadas de subportadoras.

A segunda é uma técnica de Modulação por Pulsos Codificados (*Pulse Code Modulation PCM*) que é um processo de transmissão através de um trem de pulsos em que os níveis amostrados do sinal contínuo da entrada são codificados em forma de pulsos binários.

O sistema de telemetria foi subdividido em três subsistemas: sendo um deles implementado com a técnica de modulação *FM* e denominado de rádio enlace *FM/FM* e dois subsistemas com a técnica de modulação *PCM* e denominado rádio enlace *PCM/FM*.

A configuração física do sistema de telemetrias é composta de equipamentos de solo e de bordo. Os equipamentos embarcados constituem a rede elétrica de telemetrias e com outras três redes funcionais compõem a rede elétrica do Veículo Lançador de Satélites. As redes elétricas do veículo desempenham várias funções, tais como:

- Rede elétrica de serviço: tem por função comandar os principais eventos de vôo, tais como as separações de estágios, ignições e ativação de subsistemas, além de suprir potência elétrica para todos os equipamentos do veículo.
- Rede elétrica de telemetrias: destinada a medir, coletar e transmitir para o solo informações e medidas de diversos parâmetros do vôo.
- Rede elétrica de controle: tem como função realizar a navegação e o controle de atitude do veículo desde a sua decolagem até pouco antes do vôo do quarto estágio.
- Rede elétrica de segurança: possibilita facilitar a localização do veículo pelos radares em solo e o recebimento do telecomando de destruição do veículo, em caso de uma trajetória perigosa para as áreas consideradas de proteção.

A Figura 1.5 ilustra o teste das redes elétricas integradas (*IAE, 2004*) realizado nas dependências do *IAE* e monitoradas pelos três subsistemas de telemetria embarcados (*FM e PCM*). O teste integrado das redes elétricas consiste na verificação e na análise de todos os parâmetros de vôo, transmitidos através dos cabos umbilicais do veículo e gravados pelo sistema de Aquisição e Processamento de Dados de Telemetria (*APDT*) para pós-processamento.

Simultaneamente, a análise pelo Banco de Controle resulta na condição essencial para o prosseguimento da cronologia de lançamento. O Banco de Controle interrompe a contagem na ausência de qualquer informação relevante ou indicação de que um parâmetro está fora dos limites normais de operação.

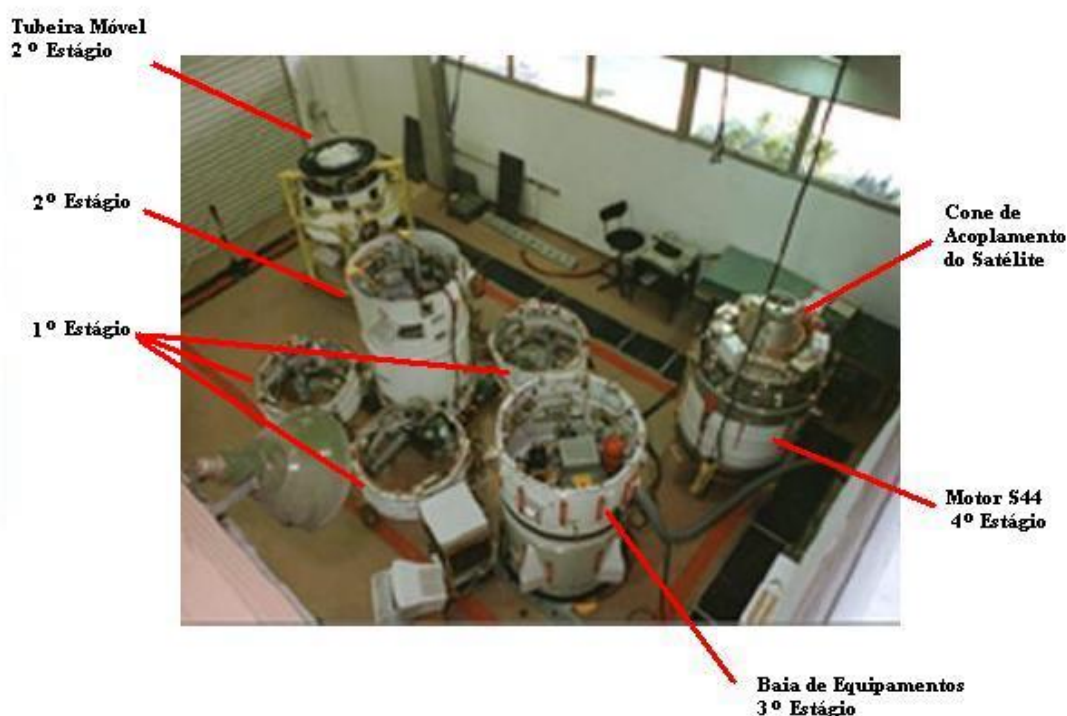


Figura 1.5: Teste das Redes Elétricas integradas.

## 1.2 Apresentação do Problema

O rádio enlace *FM/FM* serve como meio de transmissão a uma banda básica de multiplexação constituída pela translação em frequência dos sinais presentes nos diversos canais (multiplexação por divisão na frequência ou *Frequency Division Multiplexing FDM*).

Este subsistema analógico tem-se tornado cada vez menos atrativo porque além de requerer o mesmo trabalho computacional utilizado em um sistema digital, precisa de outros equipamentos de interface.

Também é muito limitado quanto ao número de canais disponíveis e que quase sempre acabam sendo insuficientes para atender à demanda. Este subsistema atende treze sinais de frequência alta e o único canal de frequência de dez mil *Hertz*.

Os outros subsistemas são compostos de dois rádios enlace *PCM/FM* e servem como meio de transmissão a duas bandas básicas de modulação *PCM*, amostrando tanto os sinais de frequência alta como os de frequência baixa.

O alto custo deste tipo de codificador *PCM* disponível no mercado, aliado ao fato de que são projetados para agregar centenas de canais, torna o seu uso inviável para a transmissão dos poucos canais de frequência alta.

Um outro problema está na forma de armazenamento do sinal original recebido na estação terrena. A gravação magnética ainda é a única forma de preservar o sinal original livre

de qualquer processamento digital que altere a sua forma. A principal restrição neste tipo de gravação é a limitação do comprimento da fita magnética.

Devido aos sinais de frequência alta, o subsistema digital deve possuir uma alta taxa de bits para atender os requisitos de amostragem. A alta cadência de bits requer do sistema de registro uma alta velocidade de gravação, o que no sistema atualmente em uso, resulta em um tempo de registro muito próximo do limiar da capacidade da fita magnética, mas ainda suficiente para o registro de todo o vôo.

Atualmente, os gravadores digitais ainda estão muito caros e não estão padronizados para utilização em campos de lançamentos, e em consequência disto, um sinal gravado durante um lançamento ainda não pode ser reproduzido em outro local que não tenha os mesmos equipamentos. A gravação digital não garante a mesma fidelidade de reprodução do sinal analógico da saída do receptor de telemetria, pois o gravador digital processa os dados originais e os codifica segundo um procedimento próprio de cada fabricante.

Embora os objetivos tenham sido atingidos, o funcionamento deste sistema não tem proporcionado plena satisfação devido aos problemas técnicos e operacionais já mencionados.

A concepção deste sistema de telemetrias sofreu outras restrições indiretas (políticas, financeiras e técnicas) (Santos, 2001) e as mais relevantes estão discriminadas abaixo:

- 1- O rádio enlace *FM/FM* utiliza toda uma cadeia de transmissão e recepção para apenas 14 canais de informação.
- 2- A cadeia de recepção *FM/FM* opera em banda *P* (215 a 260 *MHz*), e como tem sido pouco utilizada em telemetria, torna-se difícil mantê-la operacional. A sua manutenção tem custos que estão se tornando proibitivos e muitos de seus componentes estão obsoletos.
- 3- Tanto os subsistemas *FM/FM* como os *PCM/FM* foram concebidos em meados da década de 90, utilizando a tecnologia dos equipamentos para uso “on board” disponíveis no restrito mercado aeroespacial.
- 4- Na época, a opção pela transmissão em banda *P*, foi devida à não disponibilidade de uma terceira cadeia de recepção de dados em banda *S* (2200 a 2300 *MHz*).
- 5- Muitos equipamentos necessários para implementação deste sistema sofreram restrições de importação e conseqüentemente, ou tiveram que ser desenvolvidos ou substituídos por similares e modificados nos laboratórios do Instituto.

Em razão destes problemas o sistema atualmente em uso tem apresentado grandes limitações em seu desempenho operacional. Neste contexto a substituição deste sistema

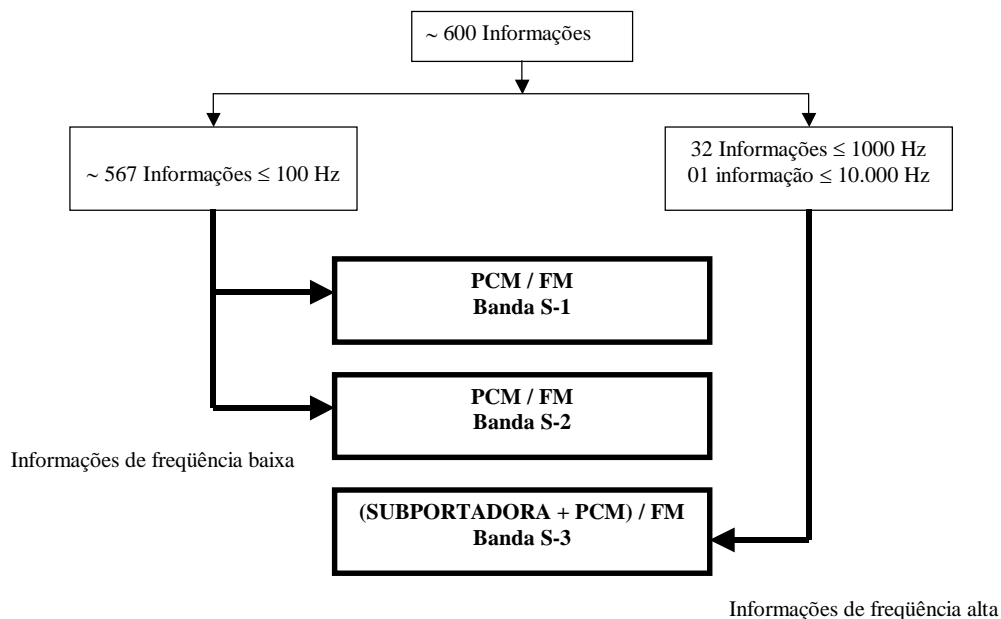
embarcado tornou-se vital para as necessidades de aquisição e processamento de dados de telemetria.

Atualmente, tanto o campo de lançamento como o laboratório de aquisição e processamento de dados de telemetria do *IAE*, dispõem de meios e equipamentos de última geração, podendo comportar não só as inovações sugeridas nesta dissertação bem como projetos futuros.

### 1.3 Objetivo

O objetivo desta dissertação é propor a substituição do transmissor banda *P* do subsistema *FM/FM*, por um outro em banda *S* com subportadora de áudio para o sinal de nível acústico e uma banda básica *PCM* de baixo custo dedicada exclusivamente aos trinta e dois sinais de frequência alta. A distribuição das informações no sistema proposto está representada na figura 1.6.

Os outros dois subsistemas *PCM/FM* acomodam todas as demais informações de frequência baixa e cada qual tem o seu próprio transmissor banda *S*.



**Figura 1.6: Distribuição das informações no sistema proposto**

Portanto, os subsistemas prevêm uma banda básica *PCM* com alta taxa de amostragem dedicada exclusivamente aos sinais de vibração e outras duas com baixa taxa para as demais informações. Esta proposta compreende três rádios enlaces em banda *S*.

A substituição do sistema atual tornará o processo de recuperação das informações processadas, conhecido como “redução de dados”, mais ágil e compatível com os



equipamentos adquiridos recentemente para este fim, o que implicará no desenvolvimento e implementação de novos programas que venham a substituir os atuais.

## 1.4 Estrutura da Dissertação

Esta dissertação foi dividida nos seguintes capítulos:

### • Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo faz-se uma introdução ao problema, apresentando as restrições impostas ao subsistema *FM/FM* e a proposição de uma solução para atender as necessidades atuais e futuras, razão que motivou a implementação de um sistema otimizado e de baixo custo.

### • Capítulo 2 – Modulação de Sinais

Este capítulo aborda as técnicas de modulação na banda básica *FM* e *PCM* e os requisitos para transmissão e recepção de um sistema de telemetria.

### • Capítulo 3 – Sistema de Aquisição e Condicionamento de Sinais Atual

É apresentada neste capítulo a descrição do sistema de telemetrias atualmente em uso, a sua arquitetura, suas respectivas configurações e a distribuição das informações no quadro de canais dos subsistemas *PCM*.

### • Capítulo 4 – Sistema de Telemetrias Proposto

Este capítulo descreve a implementação do sistema proposto, apresenta o equipamento para aquisição e codificação *PCM* para sinais de frequência baixa utilizando um codificador *PCM* comercial e evidencia a placa multifuncional para os sinais de frequência alta.

### • Capítulo 5 – Resultados

O objetivo deste capítulo é apresentar os resultados experimentais dos ensaios realizados com os sistemas de telemetrias atual e o proposto.

### • Capítulo 6 – Conclusões e perspectivas futuras

São abordadas neste capítulo as conclusões, as perspectivas de evolução dos projetos e apresentados resumos com os principais parâmetros obtidos.

### • Anexos

Nos anexos são apresentados: o perfil da missão de lançamento do *VLS* (Anexo A), as informações técnicas dos motores (Anexo B) e um pequeno glossário sobre termos técnicos da atividade espacial (Anexo C), além de outros, relevantes para a maior compreensão desta dissertação.