

PROJETO SACI

*Satélite
Avançado de
Comunicações
Interdisciplinares*

Parte I:

- Sumário
- Usos e custos de
Telecomunicações
para Nações em
Desenvolvimento

Relatório Técnico LAFE-75

PR - Conselho Nacional de Pesquisas
Comissão Nacional de Atividades Espaciais
São José dos Campos - SP

Maio 68

PROJETO SACI

NOTA

O presente relatório, resultante da fase de pré-projeto, foi dividido em três partes, todas com a mesma introdução. Foi preparado, tomando por base inúmeras referências, mas principalmente o "ASCEND Report" da Universidade de Stanford nos Estados Unidos, pelos seguintes pesquisadores da CNAE:

Dr. F. de Mendonça

Almte. A. S. Franco

Eng. A. Schechtman

Eng. J. E. Guisard Ferraz

Eng. J. Torquato P. de Sousa

Eng. J. Mesquita

São José dos Campos

Maio de 1968

PROJETO SACI

Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares

INTRODUÇÃO

É ponto pacífico que o presente sistema educacional brasileiro é inadequado, em qualidade e quantidade em todos os níveis, para o desenvolvimento nacional.

A aplicação de capitais através de processos e métodos ortodoxos, para incrementar o sistema existente, além da impossibilidade econômica, muito dificilmente poderia colocar o Brasil na posição desejada nos próximos cinco ou dez anos. Um dos itens mais sérios no contexto deste complexo problema é a formação demorada de bons professores e a impossibilidade de se atingir todos os pontos do país com a mesma qualidade de ensino.

O sistema que aqui propomos não é a solução total, não é simples de ser implementado mas está dentro das possibilidades econômicas e tecnológicas do país. É quase a única solução educacional em países não desenvolvidos de áreas continentais como é o caso do Brasil. O sistema proposto não se aplica a nações desenvolvidas.

A situação educacional brasileira é pior do que se poderia deduzir dos números apresentados na Tabela I que se segue, pois a nossa população é na maioria constituída de jovens.

TABELA 1

(Dados disponíveis mais recentes)

País	População estimada em milhões de habitantes	Educação primária, secundária e vocacional				Educação Universitária			Porcentagem de analfabetos com idade superior a 14 anos
		Professores	Alunos		Professores	Alunos			
			total	Obs. I		total	Obs. I		
Brasil	85	440 000	11 246 000	132	28.000	142 000	2	40%	
Argentina	22	217 000	3 138 000	142	14 000	216 000	10	8.6%	
Japão	98	755 000	21 286 000	220	68 000	964 000	10	Obs II	
U.S.A.	198	2 024 000	59 703 000	250	326 000	4 265 000	22	2.4%	
U.S.S.R.	231	2 571 000	49 926 000	216	206 000	3 608 000	16	1.5%	

Obs. I Número arredondado de alunos por mil habitantes da população total

Obs. II Dado não disponível

Este relatório tem um caráter preliminar pois fôra feito na fase de pré-projeto e servirá como um documento gerador de discussões. É constituído de duas partes; a primeira aborda problemas e conjecturas sobre o uso de satélites em sistemas educacionais e uso e custo de telecomunicações numa nação em desenvolvimento; a segunda parte tem a haver com os sistemas de solo e espacial do projeto. Haverá ainda um apêndice.

Espera-se que este documento sirva de base na decisão da Presidência da República sobre a complementação ou não do sistema proposto.

Um grande número de referências foi consultado, mas a obra que serviu de base a este trabalho foi principalmente o "ASCEND Report" do curso de engenharia de Sistemas Espaciais na Universidade de Stanford nos Estados Unidos. De fato este relatório é uma adaptação. Três pesquisadores da CNAE participaram nos estudos e preparação do "ASCEND Report".

OBJETIVOS

O desenvolvimento de sistemas de telecomunicações educacionais num país como o Brasil é um primeiro passo essencial na constituição de sua infra-estrutura. Uma vez que se tenha feito este investimento a produtividade marginal do capital investido nos projetos de industrialização será por demais aumentada. Com isto o país poderá atingir uma posição que lhe permita quebrar o círculo vicioso de pobreza que até o momento lhe sufoca.

Depois de considerarmos várias alternativas, cremos que o projeto aqui proposto oferece a melhor probabilidade de sucesso a uma nação de extensões continentais como a nossa.² É verdadeiramente, um passo decisivo nos seus programas educacionais e de telecomunicações.

Os fatores abaixo enumerados indicam a escolha do sistema com satélites para televisão educacional e comunicações como o mais adequado:

No campo educacional:

- a - A televisão permite a disponibilidade dos melhores professores para a maioria da população, mesmo nos mais longínquos recantos do país.
- b - A televisão pode ser usada como fonte de informações e ponto focal para o desenvolvimento da comunidade.
- c - A televisão pode ser usada dentro do quadro do sistema de ensino já existente, se bem que os problemas de reajustes dos professores aos novos métodos não deve ser subestimado.
- d - O satélite é o meio menos dispendioso de atingir o objetivo numa implementação relativamente rápida, da ordem de 5 anos.

No campo das comunicações:

- a - O sistema com satélite é o menos dispendioso dos métodos que permitem atingir qualquer lugar do país, como por exemplo as vilas e destacamentos nas fronteiras.
- b - Em alguns casos é o único meio de se prover comunicações de alta confiabilidade.
- c - O sistema proposto apresenta a solução de mais curto tempo para instalação de comunicações em âmbito nacional.

d - A parte do satélite dedicada a comunicações poderia prover uma razoável fonte de renda.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Educação

O sistema proposto consiste no uso de um satélite de alta potência em órbita síncrona, com 3 canais, transmitindo na faixa de frequências de 4 GHz. Nas áreas urbanas usariamos um receptor e um transmissor central para re-irradiação, em áreas com raio de 70 km. Para as áreas rurais e pequenas vilas ou cidades, os receptores receberiam as informações diretamente do sa télite. Um exame das condições de preço, mostram que em áreas urbanas com 220 mil pessoas ou mais, seria mais conveniente o uso de um receptor-transmisso or local para televisões, usando aparelhos convencionais de televisão. Nas outras áreas, como já dissemos, o sinal seria obtido diretamente do satélite.

A estimativa do número de estações receptoras seria da ordem de 152 mil aparelhos receptores diretos, e 12 receptores/transmissores para á reas urbanas. Estes números permitem, a cobertura total da população em ida de escolar. Supõe-se que de início, um dos canais de televisão, será usado exclusivamente para televisão educacional (TVE), isto por um período de 2 a nos. Um segundo canal passaria para uso de TV, depois dêste prazo. Esta li mitação de um canal prende-se ao fato de ser difícil de se produzir adequada quantidade de programas, de boa qualidade. A duplicação de material didâ tico importado, sistemas de TV educacional de outros países, seria possível mente uma solução insatisfatória. É possível termos uma injeção maciça de e

ducação por televisão em todas as áreas educacionais, isto é, escolas primárias, secundárias, vocacionais e universidades, incluindo o treinamento e aperfeiçoamento de professores e instrutores nas novas técnicas. A tecnologia existente é certamente capaz de preencher os pré-requisitos, no entanto, o ponto crucial do esquema é o seu conteúdo; o aprendizado será muito mais efetivo se a qualidade do programa, os textos, os impressos, os auxílios áudio-visuais de ensino e a comunicação entre planejadores e instrutores nas salas de aulas fôr devidamente estabelecida com bases funcionais.

Processo de ensino através de televisão não é meramente uma extensão das aulas normais dadas em salas de aulas. No entanto, este novo meio requer uma orientação completamente diferente dos processos de ensino e aprendizado. As escolas terão que ser ajustadas com as suas experiências passadas ao nível modo, e em muitos casos, livros e textos terão que ser re-escritos e distribuídos o que tomará uma quantidade considerável de tempo. O projeto deve ser iniciado em uma escala pequena, e seguido de uma avaliação dos conhecimentos iniciais obtidos. Seria onerosa a introdução de uma estrutura gigante e que logo no início venha a precisar de modificações e ajustes gerais. O sistema proposto tem o seu sucesso dependente nas atitudes do pessoal envolvido e suas limitações iniciais. Treinamentos e orientação dessas pessoas serão fatores limitantes da capacidade operacional do sistema.

No caso de escolas primárias, controladas pelos estados, certamente é de se esperar que haja resistências no início, dificuldades administrativas e outras coisas deste jaez. As escolas federais, controladas curricularmente pelo governo federal talvez a situação já não fôsse tão difícil.

Poderia se pensar também na preparação, nesta fase inicial, de instrutores e elementos de apóio em treinamento para a fase seguinte de estabelecimento de programas mais avançados. Poderia se pensar também nesta fase inicial, do uso de comunicações para instruções à elementos da agricultura, la vradores, elementos de escolas vocacionais, etc. Dentro do período de dois anos, o segundo canal passaria a ser utilizado em meios educacionais. Certa mente, já de início ou antes mesmo de qualquer outra medida poderíamos pen sar em uma escala de prioridades a serem dadas aos usos d'êstes canais. Será necessário um estudo mais acurado destas prioridades, para que haja maior sucesso no programa. Devemos pensar, por exemplo, em educação de adultos, que poderia ser em horário noturno. A educação de adultos poderia ser feita em programas diretos às áreas rurais. Poderiam haver programas sôbre atos cívicos, educação, escolas vocacionais ou técnicas, isto tudo dependeria de prioridade a ser estudada na primeira fase de implementação do projeto.

Comunicações

O satélite proposto teria um canal com a largura de faixa de 200 MHz permanentemente designado para uso de comunicações. A capacidade d'êste canal é da ordem de 3 mil sub-canais de fonia. O uso primário d'êste canal seria provêr comunicações telefônicas de boa qualidade e alta confiabilidade entre pontos grandemente afastados. Considerando os processos normais de taxação telefônica, que sempre dependem de distância envolvida entre os dois assinantes, aqui teríamos um caso em que a distância não faria diferença praticamente no preço da comunicação entre os dois terminais.

Durante os dois primeiros anos em que teríamos somente um canal em televisão educacional, poderíamos usar o segundo canal para comunicações de distância menores.

Espera-se que um sistema de televisão educacional através de canais de micro-ondas, na superfície seja estabelecido neste interim de dois anos iniciais, ou mesmo antes da implementação dos dois anos de utilização de sa télites para prover a experiência adequada ao planejamento da utilização de televisão educacional através do satélite.

Durante as horas noturnas, isto é, de meia noite às 8 horas da ma nhã, certamente não haveria demanda para comunicações telefônicas, ou uso de televisão educacional, fazendo nascer daí uma fonte de renda em se utili zando estes horários para transmissão de dados, de redes bancárias, ou por exemplo, ou distribuição de canais de televisão comercial para re-irradiação posterior, serviço fac-símile, serviço de telegramas normais, telegramas es ses acumulados nos horários diurnos em fita magnética. Outros exemplos se riam comunicações sobre meteorologia, comunicações militares com os postos de fronteiras, etc. Com aproximadamente mil terminais de comunicação tere mos uma cobertura de todas as cidades ou vilas com mais de três mil habitan tes, além dos sistemas múltiplos das áreas urbanas.

Estima-se que a renda adicional provinda do serviço telefônico da ria da ordem de cinquenta milhões de cruzeiros novos por ano líquido dos cus tos de operação, depreciação, manutenção e etc. Além de telefonia outros serviços contribuiriam para a renda.

EQUIPAMENTO NO SOLO

Broadcast Direto

O principal objetivo do sistema é a transmissão de programa de televisão educacional via satélite para a maioria da população. Do que fôra dito anteriormente, conclui-se que o objetivo sô poderia ser atingido com a utilização de irradiação direta (via satélite de alta potência) às estações de baixo custo, incluindo estações centrais de re-irradiação, para a pares de aparelhos comuns de televisão em áreas urbanas. Estudos econômicos mostram que o custo mínimo do sistema proposto seria atingido se houvesse transmissão direta para 77 a 86% da população. Esta conclusão põe uma forte ênfase na minimização do custo da irradiação direta para receptores afastados das grandes áreas urbanas.

Devido às limitações práticas da geração de potência elétrica, num satélite em órbita, limitações estas que são atuais mas que poderão ser superadas na tecnologia de um futuro próximo, teremos que usar a modulação FM para o link satélite-Terra. Este tipo de modulação é incompatível com a televisão padronizada no Brasil; daí ser necessário um conversor-adaptador de modulação FM em AM antes do receptor regular de televisão. Problemas semelhantes são abordados em relatórios internos da CNAE.

Para as comunidades rurais, onde não existe potência elétrica uma variedade de tipos de fontes de potência foi considerada. Elas são classificadas em duas alternativas de acôrdo com seu custo. As alternativas mais

convenientes são: catavento com gerador, para certas regiões onde o vento sopra constantemente, como é o caso do nordeste brasileiro, ou motor-gerador a gasolina ou diesel. Haveria mesmo a possibilidade de se usar uma combinação gerador-motor movido a potência animal. O custo de uma fonte de potência para áreas remotas, fica entre 700 e 1.500 cruzeiros novos.

Comunicações

O segundo objetivo foi desenhar um sistema de comunicações bilaterais. No começo da vida do satélite, como já foi mencionado somente um canal de televisão seria necessário. Durante o período que vai da meia noite às oito horas da manhã, nenhum dos canais de televisão seriam usados. O satélite terá potência para três canais, independentes, transmitindo com 350 watts em cada.

Assim sendo durante o dia um ou dois terços da capacidade do satélite estarão disponíveis para comunicações, transmissões de dados, fac-símile ou redistribuição de programação comercial. Durante a noite 100% do satélite será usado para este propósito.

A fim de que se possa fazer um uso eficiente desta capacidade, um sistema de comunicações versáteis e de múltiplos propósitos será construído no satélite. Várias alternativas foram estudadas e foi necessário se prover um meio de se transmitir vários canais de baixa potência com portadoras moduladas em frequência em vez de um simples canal, de alta potência para transmissão de televisão. A capacidade total do satélite é de aproximadamente 9.000 canais telefônicos em um sentido. O link de recepção para as comu

nicacões será mais sofisticado do que o de recepção usado para a televisão educacional. Uma antena maior, talvez da ordem de 9 metros de diâmetro será usada com um amplificador paramétrico e um demodulador de fase locada. O sinal demodulado formará um canal de distribuição de televisão ou 600 canais telefônicos.

Telemetria e Contrôlo

Os sistemas de telemetria e controle proverão a observação contínua dos vários parâmetros de controle do satélite e as capacidades de comando a partir da estação no solo para várias manobras.

A potência necessária no satélite para fins de telemetria será de 1 watt de potência irradiada na frequência de 136 MHz com a faixa de passagem de aproximadamente 10 KHz. Uma antena onidirecional de 1/4 de onda será usada no satélite para este fim.

Pré-requisitos da Missão do Satélite

O satélite SACI deverá ser capaz de irradiar suficiente potência a fim de permitir a cobertura total do Brasil e de alguns outros países da América Latina com imagens de boa qualidade em equipamento de baixo custo no solo. É necessário que o satélite tenha a capacidade de dois canais de televisão educacional. Além disso precisa provêr comunicações bilaterais porque a renda deste serviço auxiliaria o financiamento do sistema.

O satélite seria pôsto em órbita equatorial síncrona e operaria com vida útil confiável de cinco anos. A data de lançamento poderá ser dentro de

cinco anos depois da decisão governamental.

O satélite transmitirá em FM para os sinais de TVE e comunicações bilaterais na faixa de frequência de 3.7 a 4.2 MHz por exemplo. Capacidade de múltiplo acesso será também incluída. As técnicas serão descritas no relatório da CNAE.

Alguns componentes a serem usados no satélite ainda não existem presentemente. Um dos objetivos do grupo de engenheiros do projeto será a determinação de áreas específicas onde precisamos envidar esforços de desenvolvimento em futuro próximo para que haja mais uma contribuição tecnológica para a nação.

O desenho de estruturas do satélite poderá ser feito em um prazo de poucos meses.

Os desenhos das unidades de transmissão e recepção deverão prover que o sistema no solo é tal que a potência efetiva irradiada seja de 55 dbw por canal.

O sistema transmissor deverá ser flexível e permitir operação com qualquer grau de liberdade nos dois modos: canal com TVE e canal com grande tráfego de comunicações. A alocação básica destes modos é função da hora local e das necessidades de operação. Por exemplo, dois canais de TVE e 3.000 canais de fonia durante o dia ou durante a noite com um canal de TVE e 6.000 canais ou ainda 9.000 de telefonia.

Haverá eclipse do satélite durante um mês por ano em um período de 0 a 69 minutos na meia noite local.

Finalizando, o relatório que se segue apresenta um sistema que certamente muito contribuiria para o desenvolvimento do Brasil. É possível em vista de considerações econômicas que não haja alternativa.

A CNAE se estrutura presentemente para poder executar esta missão. Torna-se imprescindível que em futuro próximo seja formado um grupo assessor do projeto, com representantes do Ministério da Educação, de órgão do Ministério de Comunicações tais como CONTEL e EMBRATEL e do Ministério do Planejamento e Coordenação Econômica.

ÍNDICE GERAL

PARTE I

	<u>Página</u>
CAPÍTULO I: SUMÁRIO	1-1
1.1 INTRODUÇÃO	1-1
1.2 BASES PARA UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E TELEVISÃO EDUCACIONAL (TVE) POR MEIO DE SATÉLITES.....	1-2
1.2.1 Educação	1-3
1.2.2 Comunicação	1-4
1.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	1-5
1.4 CONDIÇÕES E RECOMENDAÇÕES	1-6
1.4.1 Considerações Gerais	1-7
1.5 PROJETO DO EQUIPAMENTO PESADO	1-8
1.5.1 Considerações Gerais	1-8
1.5.2 Receptor de Terra	1-11
1.5.3 Projeto do Satélite	1-13
1.6 CUSTO DO SISTEMA	1-18
 CAPÍTULO II: USOS E CUSTOS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA NAÇÕES EM DE- SENVOLVIMENTO.....	 2-1
2.1 INTRODUÇÃO	2-1
2.2 INTRODUÇÃO À EDUCAÇÃO E AO SISTEMA DE TVE POR SATÉLITE	2-3
2.2.1 Integração nos Sistemas Educacionais Existentes	2-3

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
2.2.2 TVE em Diferentes Níveis Educacionais	2-17
2.2.3 Televisão Educacional no Planejamento Nacional	2-25
2.2.4 Potencial da Televisão para Educação e Desenvolvimento no Brasil	2-32
2.2.5 Elaboração dos Programas	2-47
2.2.6 Análise de Custo para o Sistema Educativo	2-61
2.3 USOS COMERCIAIS DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO	2-90
2.3.1 Introdução	2-90
2.3.2 Comunicações no Brasil	2-92
2.3.3 Custos de Componentes do Sistema	2-105
2.3.4 Custos dos Sistemas Alternativos	2-107
2.4 IMPLICAÇÕES LEGAIS INTERNACIONAIS	2-110
2.4.1 Necessidades dos Satélites de Comunicações	2-110
2.4.2 A ITU	2-111
2.4.3 Pesquisa	2-117
2.4.4 Seleção de Frequências	2-120
2.5 FINANCIAMENTO PARA O SISTEMA	2-126
2.5.1 Divisas	2-126
2.5.2 Posições de Liquidez	2-127
2.5.3 Intelsat	2-132
2.5.4 Ajuda	2-138
2.5.5 Propostas Financeiras	2-142

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE II

	<u>Página</u>
CAPÍTULO III: SISTEMA TERRESTRE	3-1
3.1 INTRODUÇÃO	3-1
3.1.1 Sistema de TVE	3-1
3.1.2 Sistema de Comunicações	3-6
3.2 SINAIS E POTÊNCIA DE RF	3-7
3.2.1 Faixa Ótima de Frequência	3-7
3.2.2 Largura de Faixa	3-11
3.2.3 Métodos de Modulação	3-11
3.2.4 Distribuição de Potência	3-15
3.3 ANTENAS NO SOLO	3-28
3.3.1 Materiais e Técnicas de Produção	3-28
3.3.2 Projeto da Antena de TVE e Alimentação	3-40
3.4 PROJETO ELETRÔNICO DO CONVERSOR DE BAIXO CUSTO	3-49
3.4.1 Misturador	3-50
3.4.2 Oscilador Local	3-57
3.4.3 Amplificador de FI	3-60
3.4.4 Discriminador de Faixa Larga	3-75
3.5 FONTES DE ENERGIA NO SOLO	3-87
3.5.1 Necessidades de Potência	3-87
3.5.2 Métodos de Produção de Energia no Solo	3-88
3.5.3 Sumário	3-93

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
CAPÍTULO IV: PROJETO DO SATÉLITE	4-1
4.1 CONFIGURAÇÃO DO SATÉLITE	4-1
4.1.1 Introdução	4-1
4.1.2 Pêso do Satélite	4-2
4.1.3 Distribuição de Massa do Satélite e Momento de Inércia	4-3
4.1.4 Materiais Estruturais do Satélite	4-3
4.1.5 Projeto da Estrutura do Satélite	4-11
4.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES	4-15
4.2.1 Sinais	4-15
4.2.2 Níveis de Potência e Limitações Resultantes	4-16
4.2.3 Escolha da Válvula de Potência de Micro-ondas	4-17
4.2.4 Escolha da Configuração do Sistema de Comunicações ..	4-22
4.2.5 Maneira de Operação	4-30
4.3 SISTEMA DE ANTENA E DE ALIMENTAÇÃO	4-34
4.3.1 Avaliação dos Requisitos de Iluminação	4-34
4.3.2 Antena Receptora-Transmissora	4-36
4.3.3 Sistema Sensor de Atitude	4-43
4.3.4. Antena de Telemetria e Comando	4-46
4.3.5 Vista Geral do Sistema	4-48
4.3.6 Período de Desenvolvimento e Planos Futuros	4-52
4.4 FONTE DE ENERGIA DO SATÉLITE	4-53
4.4.1 Projeto Proposto: Paine Solar	4-54
4.4.2 Condicionamento de Potência	4-59

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
4.4.3 Subsistema Secundário da Energia Solar	4-61
4.4.4 Conclusão	4-62
4.5 PROJETO E CONTRÔLE TÉRMICO	4-63
4.5.1 Projeto Térmico Geral	4-63
4.5.2 Seção Superior	4-65
4.5.3 Cálculos Térmicos	4-76
4.5.4 Seção Inferior	4-80
4.5.5 Análise de Temperatura das Células Solares	4-85
4.6 TELEMETRIA E CONTRÔLE	4-88
4.6.1 Necessidades Gerais	4-88
4.6.2 Implementação do Sistema de Telemetria e de Comando	4-89
4.7 CONTRÔLE DA NAVE ESPACIAL	4-92
4.7.1 Necessidades do Sistema	4-92
4.7.2 Contrôles de Atitude ao Redor do Eixo Longitudinal ..	4-95
4.7.3 Velocidade de Rotação da Seção Inferior	4-96
4.7.4 Contrôles de Atitude em Relação aos Eixos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-98
4.7.5 Conservação da Posição	4-106
4.8 LANÇAMENTO E ENTRADA EM ÓRBITA	4-112

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE III

	<u>Página</u>
APÊNDICES:	
A. Projeto Estrutural	A-1
B. Momentos Perturbadores que agem sobre o Satélite	B-1
C. Controle por Gradiente da Gravidade	C-1
D. Projeto do Sistema de Controle do Eixo Longitudinal	D-1
E. Controle de Atitude com Dois Pulsos	E-1
F. Sensores de Infra-vermelho para Posicionamento	F-1
G. Antenas	G-1

LISTA DE TABELAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Número Estimado de Postos Receptores.....	1-6
1-2	Custos de Investimento de Capital	1-18
1-3	Custos de Operação	1-19
2-1	Situação Econômica Brasileira	2-34
2-2	Crescimento do Sistema Educacional Brasileiro	2-35
2-3	Canal Nº 1 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-52
2-4	Canal Nº 2 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-53
2-5	Custos de Transmissão e Produção para o Curso Secundário por Correspondência da NHK (Japão) 1964	2-55
2-6	Organograma da Estação	2-59
2-7	Custo de Pessoal	2-60
2-8	Modelo de Custo	2-63
2-9	Divisão Completa do Modelo de Custo	2-64
2-10	Custo de Pesquisa e Desenvolvimento do Satélite	2-67
2-11	Custo de Produção do Satélite	2-69
2-12	Pesquisa e Desenvolvimento dos Receptores Diretos	2-69
2-13	Custo de Produção dos Receptores Diretos	2-69
2-14	Custo do Conversor de Micro-ondas	2-71
2-15	Custo do Sistema SACI	2-75
2-16a	Parâmetros de Entrada	2-76
2-16b	Modelo de Custo do Sistema de TVE	2-77
2-16c	Modelo de Custo do Sistema de TVE (Continuação)	2-78

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
2-17	Implementação até 1980	2-81
2-18	Distribuição Proporcional dos Custos do Projeto SACI durante um Período de Dez Anos	2-84
2-19	Volume de Comunicações Internacionais no Brasil em 1965...	2-92
2-20	Necessidades de Divisas Estrangeiras no Custo Total do Sistema	2-128
2-21	Desembolso durante os Dez Anos de Implementação	2-129
2-22	Liquidez Internacional e Balança de Pagamento	2-131
3-1	Sistema de Recepção Direta	3-5
3-2	Necessidades de Potência para a Ligação Satélite-Terra para a TVE	3-18
3-3	Necessidade em Potência para a Ligação Satélite-Terra para Comunicações	3-22
3-4	Requisitos em Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão SSB)	3-24
3-5	Necessidades de Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão em FM)	3-25
3-6	Custos Estimados de Três Antenas	3-37
3-7	Parâmetros do Projeto	3-48
3-8	Características do Amplificador de FI	3-60
3-9	Custos Estimados dos Componentes e Unidades	3-74
3-10	Amplitude de Voltagem nas Entradas do Discriminador	3-78
4-1	Distribuição do Peso do Satélite	4-8
4-2	Dados de Momento de Inércia e Centro de Gravidade para o Satélite SACI	4-9
4-3	Propriedades dos Materiais	4-10

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-4	Parâmetros da Válvula	4-19
4-5	Frequências do Oscilador Local na Ligação Satélite-Terra para o Módulo 1 do Receptor	4-31
4-6	Larguras de Feixe Corrigidas, Diâmetros da Abertura e Máximo Ganho Teórico	4-42
4-7	Perda Total Estimada da Saída do Amplificador a TWT para o Sinal Irrradiado	4-43
4-8	Principais Requisitos de Potência	4-54
4-9	Distribuição da Potência (em Watts) a ser irradiada pelos Tubos Contínuos de Calor nas Diferentes Condições de Trabalho	4-81
4-10	Propriedades Térmicas do Substrato LASCA.....	4-85

ILUSTRAÇÕES

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Espectro de Frequência para Comunicações	1-10
1-2	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	1-12
1-3	Vista Geral do Satélite	1-16
2-1	Realimentação para Implementação	2-13
2-2	Taxa de Instalação do Sistema	2-74
2-3	Custo de Operação Anual x Número Total de Receptores (2 canais de TVE)	2-79
2-4	Ruído de Fundo em Função da Frequência	2-121
3-1	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	3-4
3-2	Ruído Devido à Absorção Ionosférica	3-9
3-3	Custo Unitário dos Sistemas Receptores em Função da Frequência. Ruído Indígena Máximo	3-13
3-4	Alocações Espectrais para TVE e Comunicações	3-16
3-5	Qualidade de Imagem em Função da Relação Sinal-Ruído ..	3-19
3-6	Redução do Ruído de Intermodulação como Função do "Backoff" da Saturação	3-21
3-7	Curvas com Relação Portadora/Ruído Total Constante como Função das Relações Portadora/Intermodulação e Portadora/Ruído Térmico	3-21
3-8a	Corte do Refletor Plástico	3-31
3-8b	Antena com Alimentação Tipo Newtoniana	3-32
3-9	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 10 Antenas por Hora	3-35
3-10	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 60 Antenas por Hora	3-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-11	Pêso do Refletor em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-12	Custo do Material em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-13	Custo do Refletor em Função do Número de Antenas	3-38
3-14	Diâmetro da Antena em Função do Número de Antenas	3-38
3-15	Número de Antenas Versus Pêso Total	3-39
3-16	Número de Antenas Versus Tempo Total de Produção	3-39
3-17	Geometria do Refletor da Antena	3-42
3-18	Alimentação Cassegrainiana	3-44
3-19	Alimentação Newtoniana	3-46
3-20	Relação de Temperatura em Função de Frequência	3-51
3-21a	Detalhes da Cavidade Misturadora de Micro-Ondas	3-53
3-21b	Vista da Cavidade Misturadora	3-54
3-21c	Cavidade do Guia de Onda Misturador e o Discriminador ..	3-55
3-22	Esquema do Oscilador e do Multiplicador de Frequência ..	3-59
3-23	Diagrama de Bloco do Amplificador de FI	3-61
3-24	Espectro de Frequências em Micro-Ondas e FI	3-61
3-25	Diagrama Esquemático do Prê-Amplificador de Baixo Ruído.	3-64
3-26	Fator de Ruído do Prê-Amplificador-Misturador em Função de Fatos de Ruído do Prê-Amplificador de FI	3-65
3-27	Curvas de FR = 3db Constante para Amplificadores em Cas- cata	3-66
3-28	Diagrama Esquemático do Amplificador FI de Canal Simples	3-70
3-29	Diagrama Esquemático do Circuito Integrado CA 3005	3-70
3-30	Circuito Típico de CAG	3-71

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-31	Variação do Preço do Circuito Integrado MC 1550G	3-71
3-32	Preço de Venda Média da Indústria Mundial	3-72
3-33	Circuito Limitador Típico	3-75
3-34	Desenho do Discriminador de "4 Entradas"	3-77
3-35	Esquema do Conector de 4 Entradas (a) e Diagrama de Fase da Voltagem no Detetor (b)	3-77
3-36	Voltagem de Saída do Detetor Quadrático como Função da Frequência (Normalizada); Mostrando as Possíveis Regiões de Operação	3-79
3-37	Tempo de Atrazo, Amplitude e Linearidade em Função de $f_c / \Delta f$ e de f_c para $\Delta f = 30$ MHz	3-81
3-38	Esquema de um Possível Detector	3-83
3-39	Gerador a Vento	3-90
3-40	Motor Gerador	3-91
4-1	Vista Geral do Satélite	4-4
4-2	Seção Superior do Satélite	4-5(6)
4-3	Seção Inferior do Satélite	4-7
4-4	Vista Geral do Satélite	4-14
4-5	Relação entre as Eficiências	4-23
4-6	Diagrama de Bloco do Sistema de Comunicações	4-25
4-7	Diagrama de Bloco para o Caminho do Sinal em um dos Canais de MHz	4-26
4-8	Diagrama de Bloco Alternativo para o Caminho de Sinal para um Canal de 30 MHz	4-27
4-9	Distribuição dos Canais do Receptor 1	4-31
4-10	Plano de Iluminação para o Brasil	4-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-11	Sistema da Antena Receptora-Transmissora	4-37
4-12	Posições de Elevação da Antena	4-38
4-13	Refletor Hiperbólico Função da Frequência	4-40
4-14	Um Combinador Híbrido Compacto com Baixa Perda por In- serção Constituído por Vários Filtros Passa-Faixas em Paralelo por Seção	4-44
4-15	Possíveis Configurações da Corneta de Alimentação	4-45
4-16	Sistema de Monopulso de Fase	4-47
4-17	Sistema Sensor de Atitude	4-48
4-18	Sistema da Antena de Telemetria	4-49
4-19	Sistema Completo da Antena	4-50
4-20	Sistema de Antenas e de Alimentação e sua Relação com o Total do Sistema	4-51
4-21	Vista Lateral do Painel Flexível Distendido	4-56
4-22	Vista do Tôpo do Painel Flexível Distendido	4-57
4-23	Unidade Conversora DC-DC	4-60
4-24	Condicionamento da Energia	4-61
4-25	Operação do Tubo de Calor	4-68
4-26	Taxas Teóricas Máximas de Transferência de Calor para Tubo Cilíndrico	4-69
4-27	Válvula de Potência de Vídeo.....	4-71
4-28	Válvula de Potência de Comunicação	4-71
4-29	Projeto Térmico da Seção Superior	4-74
4-30	Espessura da Folha de Alumínio como Função do Produto Área da Superfície x Tempo de Vida Requerido, para Vã- rias Probabilidades de Nenhuma Picada de Meteoróide	4-75

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-31	Temperaturas no Estado Quiescente Durante a Noite e o Dia Terrestres	4-78
4-32	Comportamento Transitório de Temperatura para Eficiências da Válvula de Comunicação	4-80
4-33	Operação das Persianas	4-84
4-34	Diagrama de Bloco do Sistema de Telemetria	4-91
4-35	Diagrama de Blocos do Sistema de Comando	4-92
4-36	Massa do Sistema em Função do Tempo de Operação	4-95
4-37	Configuração para os Sensores de Tempo e Jatos	4-99
4-38	Correção de Alinhamento por Dois Pulsos	4-100
4-39	Definição dos Ângulos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-101
4-40	Saída dos Sensores de Horizonte	4-102
4-41	Transformação do Erro	4-102
4-42	Sistema de Contrôlo de Velocidade de Rotação	4-103
4-43	Sistema de Contrôlo de Atitude para o Satélite SACI	4-105
4-44	Localização dos Jatos e dos Sensores	4-107
4-45	Procedimento para Orientação	4-113
4-46	Diagrama da Órbita de Transferência	4-114
B-1	Sistema de Referência Ligado ao Corpo do Satélite	B-3
C-1	Modelo Simplificado de Gradiente de Gravidade	C-1
D-1	Diagrama do Satélite Ilustrando os Momentos de Inércia em relação ao Eixo Principal	D-4
D-2	Circuito Elétrico Equivalente para o Satélite	D-5

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
D-3	Geometria (a) do Erro de Posição da Antena e (b) do Erro de Posição dos Painéis Solares	D-9
D-4	Diagrama de Blocos do Sistema de Controle do Pannel Solar e da Antena	D-13
F-1	Radiação Térmica Direta e Radiação Solar Refletida Difusamente	F-3
F-2	Efeito dos Filtros de Germânio usados para deixar passar a Radiação Direta emitida pela Terra e para Bloquear a Radiação Solar não Desejável	F-3
G-1	Relação de Ganho para a Antena Corneta	G-2
G-2	Ganho de uma Antena Parabólica em Função do Diâmetro	G-6
G-3	Efeito dos Erros Randômicos devido às Tolerâncias do Acabamento da Superfície	G-7
G-4	Efeito da Deflexão da Antena no Ganho	G-8
G-5	Eficiência Versus Iluminação da Borda do Refletor	G-11

CAPÍTULO 1

SUMÁRIO

1.1 Introdução

O propósito deste estudo é mostrar que a tecnologia de comunicações por satélites avançou a um ponto tal que sua aplicação aos problemas do desenvolvimento nacional proporcionará soluções de notável alcance.

Para nações em desenvolvimento, tais soluções podem alterar drasticamente toda a conceituação das comunicações em geral, e dos métodos educacionais em particular.

A importância e a extensão da tecnologia dos satélites tem sido espetacularmente demonstrada em programas como aquele que ligou a Europa, América do Norte, Japão e Austrália em 25 de junho de 1967. Mas programas daquele tipo só envolvem poucos países permanecendo o resto do mundo alheio a essa tecnologia. É, pois, nosso propósito mostrar o que deve ser feito amanhã com a tecnologia de hoje de maneira que todas as nações possam incluí-lo em seus planos para o desenvolvimento nacional.

Dificuldades técnicas serão, sem dúvida, encontradas na implementação do projeto SACT, sendo o tratamento desse problema a principal finalidade de este estudo. Entretanto, nosso objetivo primordial não é o de obter soluções para problemas técnicos nem o de convencer nosso próximo da validade destas soluções ou da superioridade do projeto SACT sobre outros sistemas de comunicações.

Nossa finalidade precípua é, pois, a de persuadir as pessoas de que dependem diretamente os planos de desenvolvimento do país, que elas incluam nesses planos conceitos que, como o projeto SACT, usam uma tecnologia moderna.

A tendência geral é sempre a de procurar sistemas de eficácia já testada e, no domínio das comunicações e da educação, êsses são os complexos e dispendiosos sistemas que têm sido desenvolvidos nos Estados Unidos, na Grã-Bretanha, na União Soviética e alhures. Mas tais sistemas convencionais requerem tempo demasiado longo para serem desenvolvidos enquanto que os problemas enfrentados pelas nações em desenvolvimento necessitam solução imediata. Este relatório demonstra como a tecnologia pode ser vantajosamente usada num ataque imediato a êsses problemas.

As soluções imediatas aqui sugeridas criarão novos problemas, alguns dos quais não são previsíveis. Como o país não pode arcar com o risco de uma falha econômica, o campo dêste estudo deve ser o mais amplo possível. Entretanto é difícil para um pequeno grupo de engenheiros, levar em consideração todos os empecilhos que fatalmente surgirão. Daí ser necessário que o governo designe um grupo de assessores do projeto contando com elementos dos Ministérios da Educação e Comunicações. Isto porém não impede que o grupo da CNAE continue a considerar os pontos principais do projeto tendo em vista seus objetivos. O segundo capítulo apresenta êsses pontos e os dois capítulos seguintes resumem a implantação técnica do sistema.

1.2 Bases para um Sistema de Comunicação e Televisão Educacional (TVE) por meio de Satélites

Tendo em vista os benefícios que podem ser conseguidos nas comunicações e na educação nacional, o Brasil deveria incluir um sistema como o SACI em seu programa de desenvolvimento.

1.2.1 Educação

Um dos problemas básicos que enfrentam as nações em desenvolvimento resulta da sua incapacidade de prover número suficiente de professores habilitados a preencher as necessidades educacionais de suas populações em crescimento. Grande número de professores no Brasil não tem formação adequada, sendo que, muitos deles têm apenas o curso primário. Com programas de formação convencionais, a necessidade de professores provavelmente não poderá ser suprida em menos de 5 ou 10 anos. Nesse ínterim, a carga de uma nova geração, pobremente educada terá sido adicionada à economia já sobrecarregada.

Um sistema nacional de telecomunicações por satélite poderia literalmente e de um só golpe estimular o conjunto educacional do país atacando o problema em dois níveis:

- 1) Na fase inicial de operação, o sistema TVE poderia realizar a preparação dos professores atuais e futuros. Uma agência central poderia congregiar os educadores mais hábeis do país e prover toda a população escolar de um material magnificamente preparado (e apresentado), cobrindo um extenso campo de importantes assuntos. Neste sistema, os professores e seus alunos seriam estudantes, todos aprendendo através dos programas de adestramento, ao qual se junta o exemplo dos próprios educadores da TVE. Um sistema como este não diminuiria o número de professores requeridos pelas escolas primárias; viria ele trazer, isto sim, um aprimoramento imediato da qualidade da educação através de um amplo uso dos educadores de maior capacidade com que conta a nação.

- 2) Em fases mais adiantadas do programa, quando os professores do país adquirissem maior experiência, o sistema seria ainda usado com vantagem. Os professores da TVE preparariam conferências e demonstrações, usando meios audiovisuais à sua disposição no estúdio central para enriquecer os conhecimentos dos professores locais que poderão, assim, dedicar mais tempo aos estudantes.

O ensino pela televisão não é ~~simplesmente~~ uma extensão do ensino em classe. O processo requer nova orientação para o ensino e aprendizagem. Falta de adestramento e orientação impróprias serão as principais limitações da capacidade operacional do sistema TVE. A coordenação requerida para implantar com eficiência tal sistema levaria eventualmente à unificação dos currículos e permitiria uma introdução mais rápida de mudanças nos mesmos.

Os sistemas TVE localizados nas escolas poderiam também ser usados durante as horas extras para programas educacionais de adultos no que tange ao civismo, à saúde pública, à educação agrícola, à literatura, etc. Ao lado de seus propósitos educacionais imediatos, o sistema TVE seria um meio de gerar um sentimento público das metas e propósitos nacionais e servir como fonte de informação e ponto focal do desenvolvimento da comunidade.

1.2.2 Comunicação

Em virtude de sua complexidade e de seu alto custo os sistemas de comunicações das nações em desenvolvimento não têm usualmente acompanhado outros setores em desenvolvimento, mas com os recentes progressos da tecnolo-

gia de comunicação por satélite, já é lícito considerar a instalação de uma rede nacional de comunicações que permita a aceleração do desenvolvimento. Tal rede iria ajudar a indústria privada e o governo, em retirando as barreiras impostas em seus programas pela precariedade das comunicações. O sistema de satélite proposto proporcionaria os seguintes benefícios:

1. Comunicações nacionais de alta eficiência para empresas privadas e para o governo.
2. Comunicações com áreas antes inacessíveis do país como vilas na Amazônia e destacamentos de fronteira.
3. Transmissão nacional de dados, transmissão de telegramas e fac-sí-miles, e programas de TV para retransmissão.

Este estudo mostra que tal sistema baseado num satélite é o método mais econômico para a expansão desses serviços no menor tempo possível. Uma rede terrestre completa de comunicações iria, não somente requerer mais e quipamento e mais tempo para instalação, mas seria também muito mais onerosa do que o sistema proposto.

1.3 Descrição do Sistema

Programas educacionais realizados num estúdio central seriam transmitidos diretamente (através de um satélite com equipamento de alta potência em órbita síncrona para um número ilimitado de receptores de baixo custo localizados em vilas afastadas. Nas áreas urbanas, os sinais de televisão seriam recebidos do satélite, processados, e retransmitidos por uma estação local. Uma análise de custo mostra que áreas com mais de 200.000 habitantes vivendo dentro de um raio de 40 quilômetros seriam melhor servidas por uma estação retransmissora.

O número estimado de postos receptores requeridos aparece na Tabela 1-1. Estes números consideram cobertura de 100% da população em idade escolar.

Tabela 1-1

NÚMERO ESTIMADO DE POSTOS RECEPTORES

Postos	Quantidade
Receptores diretos	152.000
Estações Retransmissoras	12
Receptores comuns	48.000

1.4 Condições e Recomendações

Como as escolas primárias no Brasil são controladas pelos estados, um sistema de TVE poderá encontrar resistência ou dificuldades administrativas. A matrícula nas escolas primárias é de cerca de 75% da população em idade escolar mas a porcentagem de desistência é alta.

As escolas federais, controladas curricularmente pelo governo federal deverão ter menores dificuldades administrativas. Entretanto como muitos estudantes saem das escolas antes de alcançarem o nível secundário, seria mais benéfico a introdução da TVE inicialmente no nível primário e em programas de adestramento para professores do nível primário. Podem também ser introduzidos ao mesmo tempo programas para educação cívica, instrução agrícola, literatura e escolas técnicas ou vocacionais. O canal de TV pode

ria ser usado para treinamento na seguinte ordem de preferência:

1. Escolas primárias
2. Adestramento de professores
3. Treinamento de agentes para a agricultura e para a saúde nas zonas rurais
4. Escolas secundárias
5. Educação de adultos - horário extra. Estes programas devem consistir no ensino direto (p.e. literário) assim como programas informativos e educacionais, como reuniões sobre agricultura e instruções cívicas e higiênicas.
6. Escolas técnicas e vocacionais.

1.4.1 Considerações Gerais

Hã outras considerações referentes ao satélite e seu uso.

O satélite será capaz de transmitir três canais separados com uma potência total em radio-frequência (RF) de saída de 1.000 Watts e uma potência irradiada efetiva (PIE) de aproximadamente um milhão de watts, apesar de ser provável que se use somente um dos canais para a televisão educativa nos primeiros dois anos. O fator limitador é a capacidade do país de produzir o material adequado para os programas. Deve ser possível a entrada em uso do segundo canal de TVE depois de um período inicial de dois anos. O material educacional deve ser brasileiro; o uso de material importado poderia pôr em risco o sucesso de todo o projeto.

No primeiro ano de operação, os dois canais extras poderiam ser usados para comunicações telefônicas de alta confiabilidade através do país. Cada canal pode acomodar 3.000 sub-canais de fonia. Enquanto o segundo canal de TVE não é usado, um dos canais extras poderia ser usado para comunicações a

pequenas distâncias. É de esperar que seja construído um sistema terrestre que preencha eventualmente as necessidades de curta distância. O uso do terceiro canal para comunicações em longas distâncias poderia dar uma renda capaz de autofinanciar a continuidade do sistema do satélite.

Durante as horas noturnas, isto é, de meia noite às 8 horas da manhã certamente não haveria demanda para comunicações telefônicas, ou uso de televisão educacional. O satélite poderia então proporcionar outras fontes de renda, utilizando estes horários para os seguintes serviços:

1. Transmissão de dados,
2. Distribuição de programas de televisão comerciais para retransmissão posterior,
3. Transmissão de fac-símiles e
4. Telegramas (acumulados durante o dia em fita magnética)

Estima-se que aproximadamente 1.000 terminais de comunicação darão cobertura direta para todas as cidades com mais de 3.000 habitantes, além dos sistemas múltiplos das áreas urbanas.

Estima-se ainda que a renda adicional proveniente do serviço telefônico seria da ordem de vinte milhões de dólares por ano, líquido dos custos de operação, depreciação, manutenção, etc. O serviço de fac-símiles daria uma renda adicional líquida de dez milhões de dólares por ano.

1.5 Projeto do Equipamento Pesado

1.5.1 Considerações Gerais

O projeto do equipamento para este sistema foi baseado num ponto de vista global. Partindo da premissa de que seria necessário aproximadamente

um milhão de receptores para uma cobertura total, e estimando o custo do equipamento completo na baixa cifra de mil dólares, concluiu-se que o custo do e quipamento de terra predomina sobre os demais. Assim, com o propósito de for necer uma proposta economicamente realizável, o sistema é projetado para mini mizar o custo dos receptores no solo, embora isso possa acarretar despesas maiores que as normais para as demais partes do sistema.

De modo geral, o custo de um receptor aumenta com a sua complexidade e sua complexidade depende do nível do sinal a ser detetado e da quantidade de informação a ser extraída. Há vários pontos críticos quando o nível do sinal aumenta, mas é desejável que o nível do sinal seja o maior possível. O nível mínimo é limitado pela maior antena que possa ser fabricada e transportada economicamente. Nosso estudo mostra que para uma parábola, seu diâmetro deve ser aproximadamente de 2 metros. Como antenas rastreadoras seriam demasiadamente caras, o satélite deve ocupar uma órbita síncrona.

A frequência de operação para a ligação satélite-terra deverá estar na faixa de 3.7 a 4.2 GHz. A figura 1.1 mostra um diagrama do espectro e seu plano de uso. Nesta faixa de frequências, o ganho da antena terrestre é 35.5 dB.

A modulação em frequência (FM) foi escolhida porque com pouco aumento de complexidade no receptor obtemos melhor relação sinal-ruído do que nos sistemas de modulação em amplitude (AM). Cada canal de TVE ocupará uma faixa de 30 MHz. Como os receptores de televisão comerciais são projetados para de modular sinais AM, o receptor deve ter um adaptador que converta FM em AM. Do ponto de vista econômico o melhor procedimento é em primeiro lugar misturarmos o sinal de 4 GHz ampliando-o em uma frequência intermediária (FI) mui to mais baixa, para então fazer a demodulação.

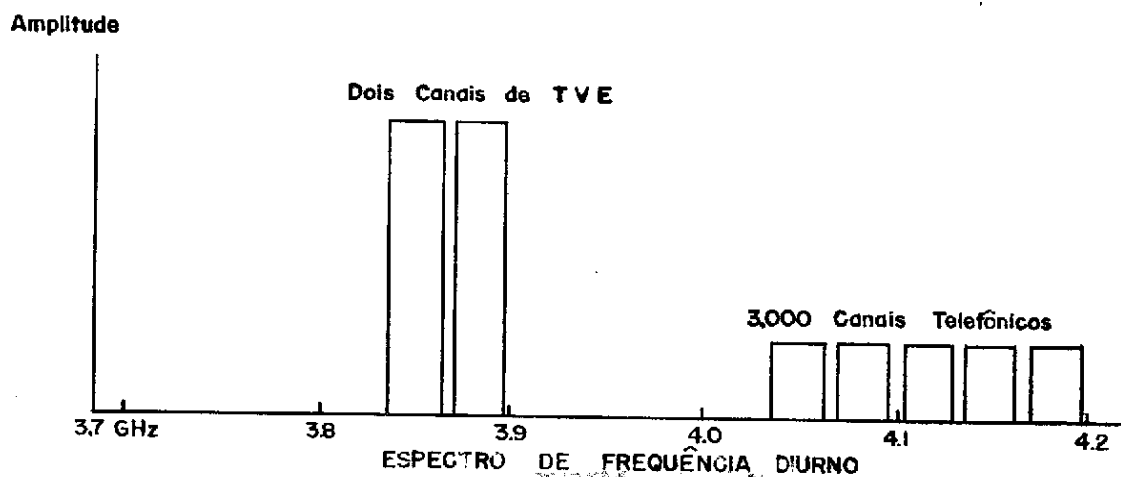
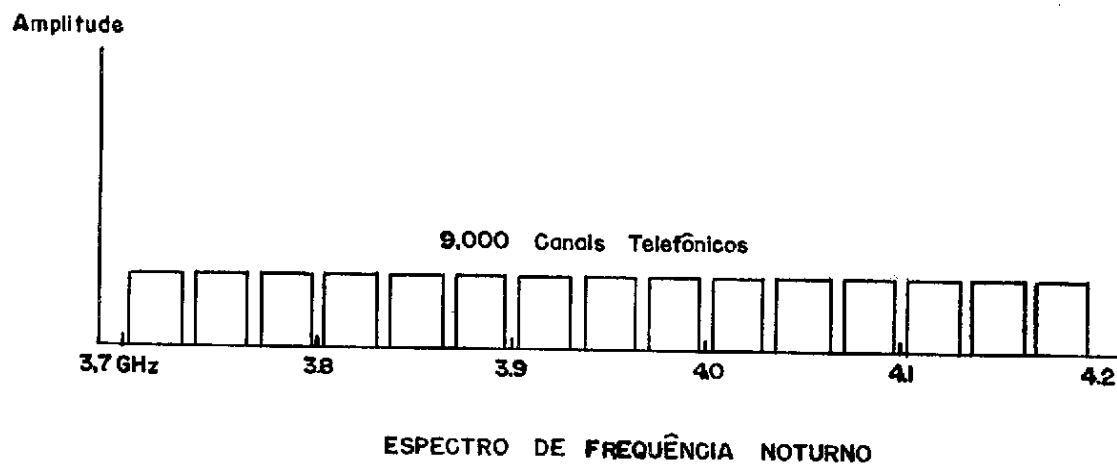


Fig. 1-1 ESPECTRO DE FREQUÊNCIA PARA COMUNICAÇÕES

A densidade de potência no solo é determinada pela mínima relação portadora-ruído aceitável, a qual relaciona o limite de funcionamento do demodulador FM e o fator de ruído do sistema. É possível alcançar-se os requisitos do receptor sem exceder a densidade máxima de potência de $-146 \text{ dBW/4KHz. m}^2$ como é recomendado pela CCIR (Comite Consultatif International de Radio). A antena do satélite será altamente direcional e projetada para cobrir eficientemen

te somente o Brasil, e assim haverá uma variação no nível do sinal quando se afastar do ponto sub-satélite. Consequentemente, poderão ser usadas antenas menores no centro do país. Devido à grande largura do Brasil, é possível que sejam necessárias antenas maiores nas áreas limítrofes.

Após levar em consideração as várias perdas e ganhos entre o satélite e o receptor no solo, foi concluído que o transmissor do satélite deve enviar 350 watts de potência de RF à antena, por canal. Haverá três transmissores, cada um capaz de transmitir cinco canais de 30 MHz. Para transmissão da TVE será usado somente um canal por transmissor. Como cada um dos cinco canais pode acomodar 600 canais telefônicos em um sentido, a capacidade do transmissor é de 3.000 canais em um sentido, ou cinco canais de TV de baixa potência, ou qualquer combinação dos dois. A capacidade total do satélite é de 9 000 canais telefônicos em um sentido. Ligações fixas de alta capacidade, como entre Rio de Janeiro e São Paulo usarão FM/FDM na ligação terra-satélite para reduzir a alta potência normalmente requerida para os transmissores na terra. Estações menores e aquelas que requerem acesso múltiplo usarão AM-SSB/FDM de alta potência na ligação terra-satélite e permitirão que o satélite reuna estes sinais nos 600 circuitos de sinais FM para a ligação satélite-terra.

1.5.2 Receptor de Terra

O receptor de terra consta de um adaptador e de um aparelho comum de televisão. A figura 1.2 mostra um diagrama de blocos do adaptador. Esse sistema é o mais econômico para demodular sinais FM para TVE transmitidos em 4 GHz. A antena parabólica estampada em lâminas de metal, quando produzida em grande escala, custa aproximadamente de US\$ 25,00 a US\$ 70,00 dependendo do diâmetro e do custo da mão de obra local. O misturador consiste em um guia de on

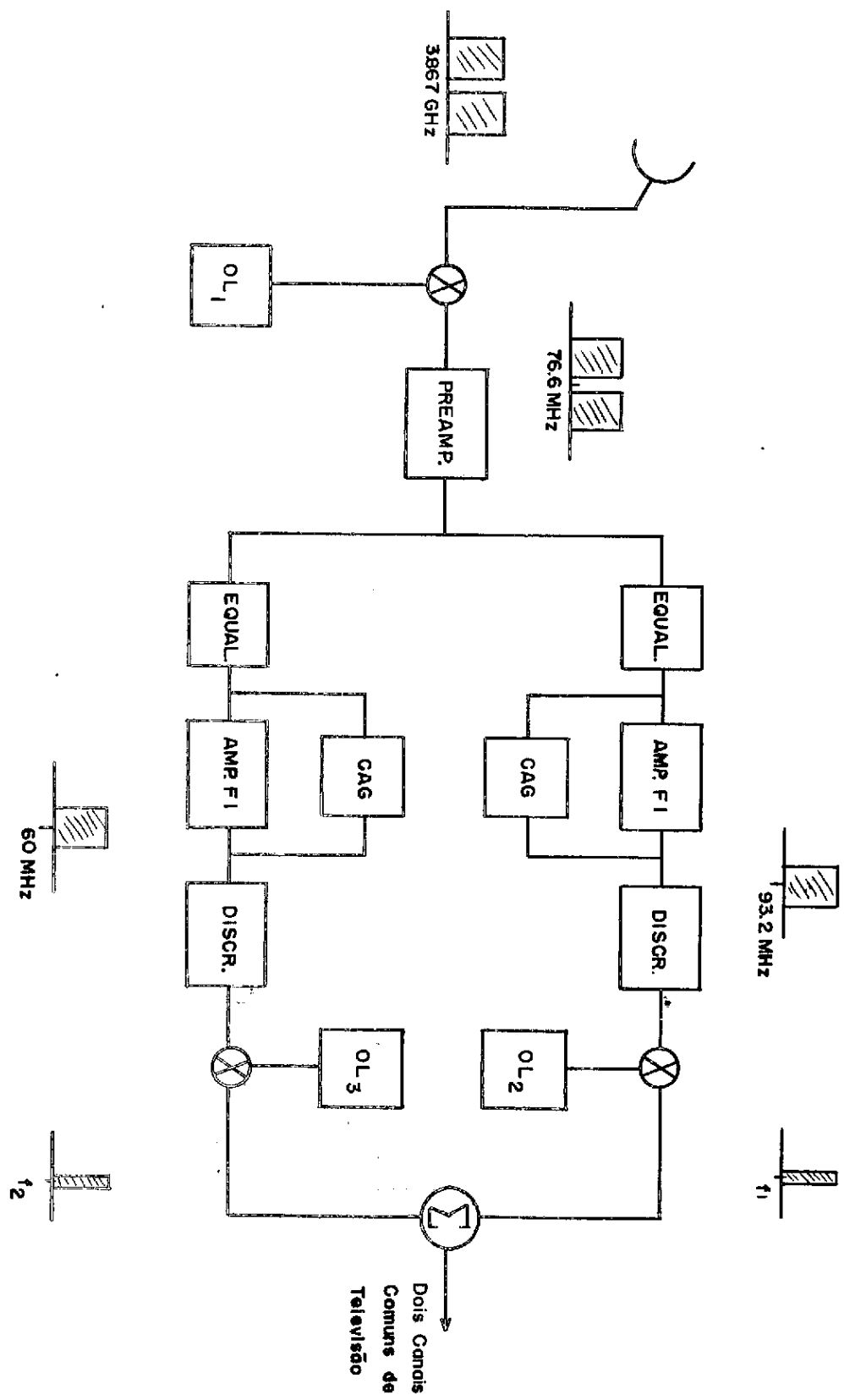


Fig. 1-2 DIAGRAMA DE BLOCOS DO ADAPTADOR DE MICRO-ONDAS

da cilíndrico montado no foco da antena. O misturador a diodo é comandado por um oscilador multiplicador transistorizado. Um pré-amplificador com baixo nível de ruído fornece um fator de ruído total de 7 db para a cadeia misturador-amplificador. O pré-amplificador excita dois amplificadores de FI que são feitos com circuitos integrados. Cada um é sintonizado numa frequência central diferente, tendo uma faixa de passagem de 30 MHz, e um ganho de 50 db. Há um limitador na saída de cada amplificador de FI. O demodulador consiste de um outro oscilador local e de um discriminador tipo linha de transmissão muito barato. O custo do adaptador completo mostrado na figura 1.2 é de, aproximadamente, \$158.

Em comunidades rurais, onde a energia elétrica não é disponível, vários métodos de gerar energia podem ser aplicados. As soluções mais atraentes, do ponto de vista de custo e manutenção, são o motor-gerador a gasolina, cataventos e pequenos geradores a gás. O custo de uma fonte de energia fica entre \$35 e \$200.

As estações terrestres para comunicação nos dois sentidos exigirão um equipamento um pouco mais sofisticado e uma antena maior, da ordem de 5 metros de diâmetro.

1.5.3 Projeto do Satélite

Baseado nas necessidades do equipamento terrestre, o satélite deve satisfazer às seguintes condições. Deve ocupar uma órbita síncrona, operar eficientemente durante cinco anos, permanecer orientado para o país com a precisão de $0,1^\circ$, e transmitir sinais FM para TVE e comunicações nos dois sentidos em três canais separados. Cada canal deve enviar 350 Watts à uma antena de alto ganho que irá cobrir somente o país. Alguns destes requisitos são possíveis.

veis atualmente com equipamento experimental de laboratório. Entretanto, como o lançamento está previsto para daqui a cinco anos, há tempo suficiente para desenvolver a tecnologia necessária.

A configuração do satélite, conhecida como de rotação regulada, caracteriza-se pela existência de três seções principais distintas. A primeira é o corpo superior que é mecânicamente desacoplada dos painéis solares e do corpo inferior (segunda e terceiras seções). Esta seção é a plataforma estável para a antena e para toda a parte eletrônica que permanece orientada para a terra. A potência DC e a informação de controle devem ser trazidas através de anéis de deslizamento de alta velocidade.

A segunda seção consta de dois painéis solares de 2 x 9 m, também desligada das seções exteriores e orientados para o Sol. Os painéis não giram ao redor de um eixo no plano da órbita e, portanto, estarão inclinados de $23,5^{\circ}$ em relação ao Sol durante os solstícios. Os painéis são feitos de células solares dendríticas leves e flexíveis que são enroladas e armazenadas durante o lançamento e a fase de ignição. No desdobramento, as seções enroladas são afastadas do satélite, libertando a seção inferior, e as células solares são então desenroladas por dois braços em cada painel.

A terceira seção consiste do corpo inferior do satélite e do eixo principal, em redor do qual as outras seções podem girar livremente. Esta seção inferior abriga o motor de injeção no apogeu, os tanques de Césio para os motores a íons, a bateria de armazenamento, as células solares para uso durante o lançamento, o sistema de controle e tubulações associadas.

A antena é parabólica, de faixa extremamente larga, com alimentação tipo Cassegrain empregando um novo sistema sub-refletor. O sistema de alimentação é uma forma modificada de um acoplador híbrido direcional desenvolvido para ser usado com três linhas de alimentação. O ganho da antena e a Potência

Efetiva irradiada são respectivamente 27,03 dB e 57,00 dBW.

O sistema de transmissão é muito flexível e pode acomodar transmissões de TVE de alta potência ou comunicações com alta densidade de tráfego. A alocação destes tipos é função da hora local e das necessidades do país.

Os únicos instrumentos capazes de fornecer com alta confiabilidade a potência de RF necessária sobre uma larga faixa em 4 GHz são as válvulas de onda progressiva (TWT). Usando técnicas de aumento da eficiência como depressão do coletor e saltos de tensão, pode alcançar-se eficiência DC/RF superior a 50%.

Foi desenvolvido pela EIMAC, Divisão da Varian Associated, Palo Alto, California, um novo método para irradiar o calor gerado nos coletores dos T.W.T. Um coletor de Tungstênio, isolado térmica e eletricamente do corpo da válvula, torna-se quente branco quando absorve o fluxo de eletrons e irradia energia através de uma janela no fim do tubo, operando de maneira algo semelhante a um "flash". Podem ser obtidas eficiências de radiação acima de 75%. Essa possibilidade de eliminar, efetivamente, o excesso de calor permite oferecer, como proposta realística, um satélite de alta potência.

O resto do calor gerado pelas T.W.T. deve ser também irradiado de maneira a conservar a temperatura do satélite em nível razoável. A superfície exterior da seção superior é pintada de branco; este material irradia bem em infra-vermelho mas não absorve bem na região do espectro solar. O calor das T.W.T. é conduzido à superfície exterior por tubos apropriados os quais também formam toda a estrutura externa. Estes condutores contêm um líquido que evapora da superfície interna, difunde-se para a superfície externa onde se condensa, e retorna para a superfície interna por meio de ação capilar através do material tipo pavio que é espalhado por todos os condutores.

Duas vezes por ano o satélite será eclipsado pela terra à meia-noite local, todas as noites durante seis semanas. O período de eclipse varia de zero a 69 minutos. Durante este tempo os dois T.W.T. normalmente usados para T.V.E.

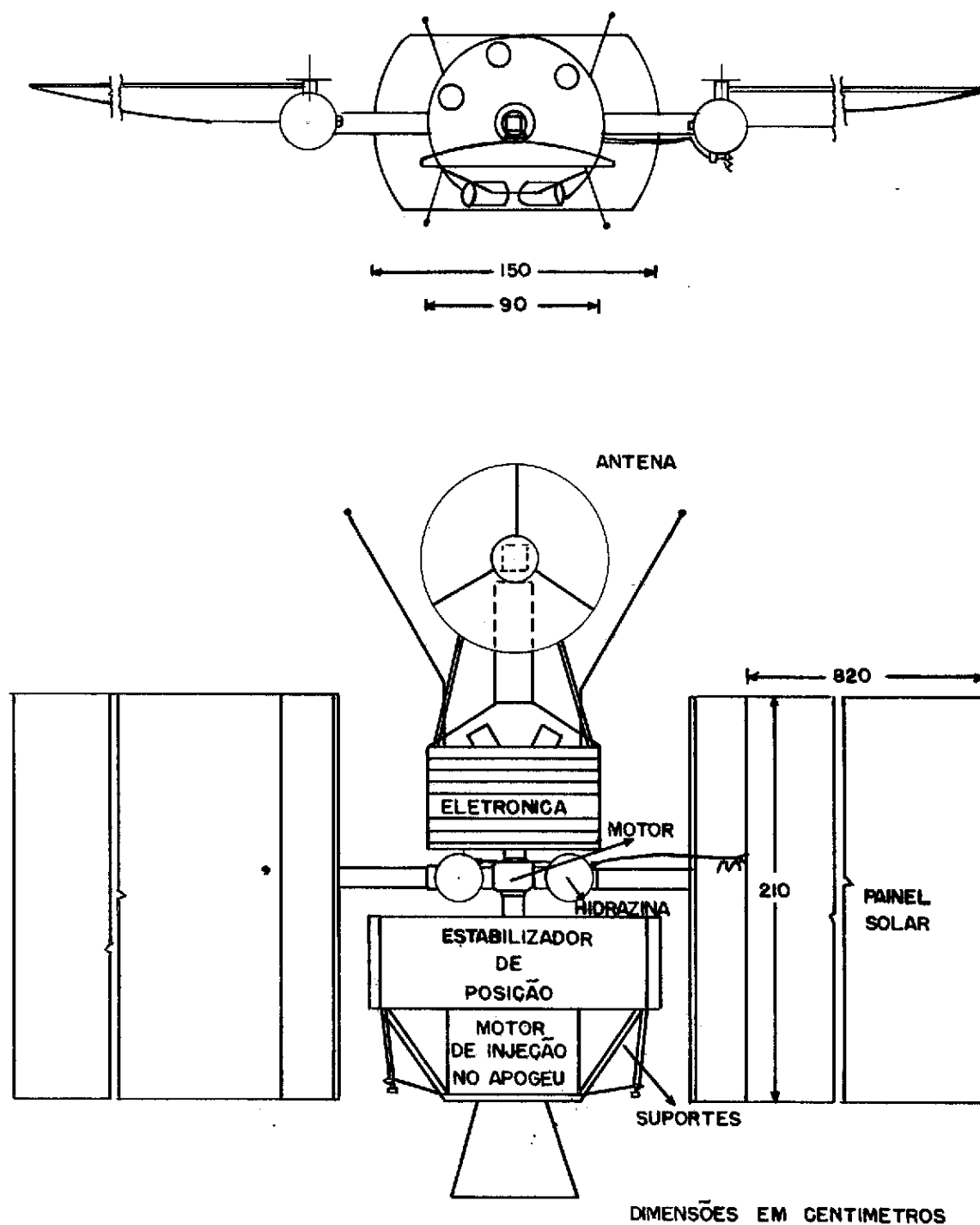


Fig. 1-3 VISTA GERAL DO SATÉLITE

são desligados (exceto os seus aquecedores, para evitar um ciclo térmico rápido), e a potência de saída do tubo restante é reduzida. O jato de elétrons desta válvula é defletido de seu irradiador normal de tungstênio para um coletor que está em bom contato térmico com o resto do satélite. Isto evita que este fique com uma temperatura muito baixa. Durante o eclipse o satélite está sendo operado por uma bateria de 1 KWh.

A cobertura externa é unida aos anéis de deslizamento e ao motor central por seis chapas verticais onde está montada grande parte do equipamento. Os receptores, moduladores, excitadores, processador de comando e equipamento de telemetria estão montados nas seções em forma de disco entre as chapas e são isoladas termicamente das demais seções que contêm os tubos mais quentes. É ainda incorporado um sistema separado de telemetria, destinado a dirigir adequadamente os vários sistemas e fornecer os sinais de controle necessários.

Dois motores são usados para liberar os painéis e a seção superior da seção girante inferior e do eixo. A frequência destes motores é controlada por um sistema de realimentação cujo erro é dado por um interferômetro e um sensor terrestre. O controle de atitude e a reação a vários conjugados perturbadores são feitas por pequenos jatos de Césio.

Análise geral do peso do satélite:

Eletrônica	91
Bateria	23
Estabilização e Controle	60
Células Solares	75
Estruturas e Diversos	<u>46</u>
Total	295

As necessidades do satélite no que se refere à potência são as seguintes:

Sistema	Potência (Watts)
Válvulas de Potência	2100
Outros equipamentos de comunicações	60
Telemetria e Comando	20
Sistema de Controle	<u>250</u>
Total	2430

1.6 Custo do Sistema

As tabelas seguintes apresentam um sumário de custo para o projeto SACI. Os custos de investimento de capital referem-se ao total necessário a um sistema completo cobrindo toda a nação.

Tabela 1-2
Custos de Investimento de Capital

	Milhões US\$
Satélites e lançamentos (1 de reserva)	23.7
Equipamentos de Comunicações	30.0
Equipamento no solo para educação	
Receptores diretos	50.7
Receptores convencionais e trans- missores	8.6
Estúdio e Transmissor Central	<u>3.1</u>
Total	116.1

Nota: Custos de pesquisa e desenvolvimento representam um adicional de US\$ 66 milhões.

Para avaliar a proposta da TVE, seus custos de operação foram tabelados separadamente na Tabela 1.3. Estes custos supõem que os custos totais do satélite estão adicionados ao sistema de TVE. Eles incluem a compra do sistema no solo com a expansão do sistema e reposição normal do equipamento quando o sistema estiver completo. Custos de instalação e manutenção estão incluídos, bem como os custos de programação e pessoal administrativo e de um extenso corpo de funcionários para assistência dos professores locais no uso da TVE. Certamente haverá possibilidade de se fazer uso da experiência obtida da televisão educativa da Fundação Anchieta em São Paulo.

Para comparação, são também dados o custo anual por estudante e a porcentagem estimada do orçamento nacional para a educação.

Tabela 1-3

Custos de Operação	
Custos Anuais de operação (milhões de US\$)	19
Número de Estudantes no sistema (milhões)	24,3
Verba para a Educação (1970) (milhões de US\$)	400
Custo estudante/ano US\$	0,78
Custo anual médio como porcentagem da verba para a educação	4,8

Capítulo II

USOS E CUSTOS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA NAÇÕES EM DESENVOLVIMENTO

2.1 Introdução

O desenvolvimento de satélites síncronos, acarreta um avanço na tecnologia de comunicações capaz de produzir grande impacto nos planos das nações em desenvolvimento. O emprego com imaginação, de um sistema nacional de telecomunicações por satélite pode: (a) promover muito mais rapidamente e com menor custo do que usando outras técnicas, a educação efetiva para todos os estudantes de nível primário e secundário de um país; (b) proporcionar treinamento continuado em técnicas de ensino, de métodos de agricultura, de práticas sanitárias, e em outras técnicas vitais a uma nação em crescimento; (c) produzir cultura, divertimento, e criar no povo um sentido de determinação nacional; e (d) pode ainda proporcionar um sistema de comunicações necessário à coordenação da expansão do comércio do país.

Os aspectos técnicos da tecnologia aplicada a satélites, interessam, especialmente, aos engenheiros, e são abordados nos dois capítulos seguintes deste relatório. Os problemas reais, entretanto, não são técnicos; ao contrário, são políticos, econômicos e sociais. São estes aspectos do projeto que formam a essência deste capítulo.

A nação que deseje empregar televisão educativa, deve decidir como usá-la, como introduzi-la no sistema existente e como assegurar seu aperfeiçoamento.

mento e crescimento continuados. Estas decisões variarão conforme seja a TVE usada na educação primária, na secundária, na superior ou na instrução de a dultos. Por outro lado, o tempo e velocidade de introdução do novo sistema não deve depender apenas da comparação da TVE com outras alternativas concer nentes a gastos com educação; a comparação de gastos em educação com gastos em outras áreas de desenvolvimento nacional deve também ser levada em conta. Para isso, é necessária uma acurada estimativa de custo, inclusive o do equipa mento pesado, o da produção de programas e implementação.

Esses pontos são tratados na primeira metade deste capítulo. O presen te relatório não contém projetos detalhados para a implementação do sistema. Poderia ser usado o horário típico de programas apresentado na seção 2.2.5 mas sua finalidade principal é a de justificar o número de canais necessã rios ao sistema. O custo do sistema apresentado na seção 2.2.6 sô é acurado para a velocidade de implementação suposta, mas seus detalhes servem princi palmente para ilustrar o modelo de custo desenvolvido. Com base no sistema representado por estas descrições e pelas prioridades descritas na seção 2.2.4, que são realistas e podem ser aplicadas, devem ser feitas consideraçõ es detalhadas e tomadas decisões finais. Esperamos que os aspectos do pro blema considerado e os modelos de custo desenvolvidos ajudem aos planejadores a fazer suas considerações.

A discussão sôbre educação é seguida da descrição da aplicação do satel lite nas telecomunicações. Comparado com outras alternativas, o satêlite é mais barato que outros sistemas atualmente usados para suprir as necessida des de comunicações. A esta discussão segue a outra concernente à situação cambial do país e o impacto que um sistema com satêlite teria nas reservas

cambiais.

O capítulo termina com uma discussão dos requisitos técnicos para o uso de frequências de rádio pelo satélite, mostrando como nosso projeto satisfaz às atuais normas para terminais terrestres, embora também se discuta a necessidade de modernização destas normas.

2.2 INTRODUÇÃO À EDUCAÇÃO E AO SISTEMA DE TVE POR SATÉLITE

2.2.1 Integração nos Sistemas Educacionais Existentes

Nunca é demais frizar a importância que tem a educação aperfeiçoada no progresso econômico e social das nações em desenvolvimento. Investimento algum oferece melhor recompensa que o do aumento da capacidade do povo, pois ela representa, em última análise, o maior bem econômico de qualquer país. No planejamento nacional a educação é essencial à elevação do padrão de vida, ao fortalecimento do processo político, ao encorajamento da ordem social e ao incentivo da participação na vida nacional e internacional.

A fim de produzir um impacto total em uma nação, o plano educacional deve proporcionar um programa devidamente equilibrado capaz de convencer a todos os indivíduos a dar sua máxima contribuição à sociedade. A promoção de tal educação em massa não pode ser baseada exclusivamente no uso de processos tradicionais. A eficiência de ensino deve ser aperfeiçoada por quaisquer meios possíveis. Existem hoje novos meios tecnológicos para fins educacionais. Entre eles, a televisão educativa por satélites é o avanço mais arrojado de que se dispõe para ajudar a impelir as nações em desenvolvimento para a era

da educação e da alfabetização universais. O satélite contribuirá para um rápido desenvolvimento nacional nas seguintes áreas.

A. Ensino

(1) Melhoria da qualidade de instrução. Programas de TVE pelos professores mais talentosos e mais preparados, suplementariam a apresentação da matéria essencial dada pelos professores de classe (p.e. em matemática, ciências naturais, línguas modernas, onde a instrução por TV tem se mostrado da maior eficiência). O treinamento de professores ou instrutores seria melhorado pelo uso de guias, de observação do ensino por parte dos selecionados professores de televisão, e pelo treinamento em serviço via TVE.

(2) Capacidade de ensino. O uso de TV com professores parcialmente treinados aumentará grandemente o número de estudantes a receberem boa educação, especialmente em áreas rurais.

(3) Fora do treinamento escolar. A TVE pode proporcionar alguma instrução formal para desistentes e para alunos que não têm recursos para instrução secundária. Pode também proporcionar alfabetização de adultos, treinamento-agricultura, higiene, e desenvolvimento da comunidade.

(4) Benefícios indiretos. A TVE pode proporcionar melhor organização e mais homogeneidade no sistema de educação com maior participação da comunidade no referido sistema. Pode abrir a tradicional perspectiva de conhecimento e ajudar a proporcionar inovações na estrutura social

(i.e, maiores oportunidades para educação de mulheres). A TVE pode também melhorar os métodos de instrução evitando a imposição de autoridade e rotina de memorização na sala de aula.

B. Benefícios Nacionais

(1) Desenvolvimento nacional. Uso do sistema de TVE por satélite para apresentação de campanhas concernentes à realização de metas nacionais.

(2) Unidade nacional. Motivação para estabilidade e mobilização em época de crise, desastre ou calamidade nacional.

(3) Divertimento e cultura. Noticiário, serviços públicos, acontecimentos esportivos, e apresentações artísticas nacionais.

Estes benefícios, entretanto, não surgem automaticamente ou mesmo facilmente, devendo a eficácia dos sistemas tecnológicos ser provada em grandes áreas. Devem ainda ser consideradas outras alternativas, particularmente quando os sistemas envolvem mudanças nos hábitos, preferências ou aspirações humanas. Devem ser evitadas restrições impostas por inflexibilidade de imposições controladas, por divisão imperfeita de custos, pelo abandono dos benefícios não negociáveis e por custos sociais, ou pela simples falta de conhecimento das alternativas. Estes problemas não técnicos serão discutidos nas seções seguintes.

Parte da dificuldade no planejamento do impacto do sistema do satélite nos presentes sistemas educacional, social e político decorre de não haver precedente a usar como guia. Esta falta de precedente oferece ainda uma

real oportunidade e lança um desafio aos países para que abram caminho no uso de um satélite como uma parte integrante de seus sistemas educacionais. E é justamente nos países ~~em~~ desenvolvimento onde a mudança é norma já aceita para sobrevivência e modernização, que ocorrem as maiores oportunidades para demonstração de tão notável inovação. De fato é aqui no Brasil que as necessidades de inovação existem. Poderemos certamente demonstrar ao mundo as possí-veis feições da modernização educacional; devemos guiar pensadores, educadores, e construtores da nação na inovação pelo progresso.

Os planejadores educacionais serão capazes de tirar proveito de dados da avaliação de vários sistemas médios, que estão sendo acumulados e servem como realimentação aos projetos nas regiões em desenvolvimento [12,47,54,55] . Muitas informações podem servir de subsídios tais como as agora dispo-níveis da Colômbia sobre o uso de um sistema nacional de TVE para escolas primárias; do Peru e Honduras sobre o uso de rádio e televisão na educação de adultos; do México sobre campanhas de alfabetização por televisão e o uso da TVE para modificações no currículo ensinado na escola secundária e em futu-ro próximo a experiência a ser ganha pela Fundação Anchieta em São Paulo a-través de seu Canal 2-TV Educativa. Podemos ainda explorar as experiências na África e Ásia [54,55] e utilizar informações de muitos países onde os meios de educação de massas estão sendo utilizados para compensar a falta de recur-sos monetários para a educação, falta de professores preparados para popula-ções em crescimento, e falta de tempo para esperar pela maturidade das insti-tuições educacionais para produzir pessoal capaz de promover o desenvolvimen-to.

A integração do sistema por satélite proposto nos sistemas educacio-

nais existentes nas regiões em desenvolvimento reclama urgentemente uma análise cuidadosa. Antes de adicionar a tecnologia espacial ao sistema existente, devemos considerar metas e necessidades do Brasil, inclusive alternativas da transmissão por satélites. Um novo plano educacional que seja mais do que teoricamente atraente deverá ser desenvolvido e adaptado à realidade das regiões mais atrasadas do país. A maior promessa de benefícios oferecida pela transmissão por satélite depende da qualidade de análise das áreas problemas e do planejamento resultante. Um perito em desenvolvimento educacional advertiu que a "mais crucial das condições prévias para progredir" é "a sincera convicção dos líderes políticos, dos oficiais administrativos, e do público em geral de que o desenvolvimento educacional é matéria de vital importância pública e que ele pode ser melhor atingido através do planejamento. Entretanto, para evitar falsas expectativas e desilusões dos servidores, essa convicção deve ser temperada por uma sóbria compreensão de que as difícultades e limitações não desaparecerão por magia mas simplesmente colocando no papel um planejamento cujas sólidas fundações devem ser estabelecidas antes que qualquer resultado significativo possa ser esperado" [34] . É tendo tudo isto em mente, que discutiremos a seguir as necessidades educacionais do país, as alternativas e a suplementação para a TVE, e os sistemas não técnicos necessários à implementação de um programa de TVE.

2.2.1.1 Necessidades

O sistema projetado destina-se a ajudar a satisfazer as necessidades básicas da educação e das comunicações da nação. No Brasil as metas educa

cacionais para 1970, delineadas num relatório de 1962, destinavam-se a [21] :

1. Aumentar as matrículas em todos os níveis de educação.
2. Melhorar a qualidade de ensino, particularmente no nível primário.
3. Acrescentar a quinta e a sexta séries em todas as escolas primárias.
4. Operar todas as escolas secundárias seis horas seguidas por dia.
5. Prover professores de tempo integral em universidades para 30 por cento do total de faculdades.

Em síntese, as metas do Brasil são: aumentar as matrículas, e melhorar o ensino. É frente a tais necessidades educacionais que deve ser examinado o sistema por satélite proposto.

Na Índia e na Indonésia, já foi reconhecido o papel que um satélite pode representar na educação. Em recente encontro sobre "Rádio-difusão a Serviço da Educação e Desenvolvimento na Ásia" foi endossada a seguinte recomendação final [55] : "O desenvolvimento das comunicações por satélite é considerado muito importante para comunicação global e em futuro não distante seria fácil a Ásia participar das vantagens desses sistemas, particularmente em educação e propósitos de desenvolvimento", [sublinhado nosso] .

Em acréscimo às possibilidades da televisão educacional por satélite seriam completamente explorados a total utilização do rádio, dos livros textos, e de outros meios para uso educacional. Tais meios devem ser também considerados no estudo da produção do material necessário para ajudar o sistema por satélite. Os meios combinados devem ser usados para realizar os objetivos sugeridos pelo Instituto Internacional de Planejamento Educacional para [48] :

1. Aumentar o nível de instrução onde os professores são inadequadamente preparados.
2. Pós-graduar os próprios professores.
3. Proporcionar oportunidades educacionais fora da escola, para desistentes e adultos que queiram treinamento formal.
4. Alfabetizar e ensinar conhecimentos de agricultura aos adultos ru-rais.
5. Eliminar falhas nos currículos onde são raros os professores com preparo especial (p.e., novos matemáticos).
6. Alfabetizar e dar educação básica aos trabalhadores urbanos.

2.1.2.2 Estratégias Alternativas

A questão básica, "Porque um satélite?" é o foco deste relatório. Apesar disso, temos que considerar outras alternativas que porventura existam. As dimensões, metas, e as necessidades de países como o Brasil favorecem economicamente o uso de um satélite nacional; no entanto, os sistemas convencionais de técnicas educacionais áudio-visuais devem e estão sendo estudados [22, 24] . Mesmo a opção pela transmissão por satélite no país, não significa que o sistema possa resolver todos os nossos problemas. A escassez de professores no Brasil só será parcialmente diminuída pelo uso da TVE, e seus programas de treinamento de professores (aumentados pela TVE) devem continuar a preparar novos professores para todas as suas escolas. Além disso, podem ser necessárias adaptações. Por exemplo, alguns têm sugerido que pode ser vantajoso usar o satélite inicialmente para a transmissão de rádio e in

introduzir a TVE em data posterior [13, 23] .

2.2.1.3 Requisitos Não Técnicos do Sistema

A análise do custo do sistema é complexa. Há os custos de produção do equipamento pesado (conjuntos de TV, etc.), do equipamento leve (programas) e o de implementação do sistema. Os custos do equipamento pesado dominam o total e são discutidos nos capítulos III e IV. A produção do equipamento será discutida mais adiante neste capítulo. Uma vez que se dispõe dos equipamentos pesado e leve, a implementação do sistema é a terceira chave para o uso com sucesso da TVE. É esta a parte mais frequentemente examinada e subestimada pelos planejadores. As partes essenciais dos programas de implementação acham-se discutidas abaixo:

A. Introdução da TVE. O principal argumento para o uso da televisão por satélite é que ela reduzirá grandemente a distribuição de custos de sistemas convencionais. O argumento é tecnicamente correto, porém os educadores devem lembrar-se de que o sucesso de uma inovação educacional tal como a TVE, depende de tornar-se o seu emprego largamente útil aos professores. A difusão do sucesso de uma inovação educacional depende de fatores tais como sua eficácia, facilidade de uso, manutenção do equipamento, e a habilidade do professor na sua utilização. A simples colocação de um conjunto de TV em uma sala de aula no interior do Brasil pode ser considerada como uma façanha da tecnologia, porém não garante sua utilização apropriada para as metas educacionais. O professor deve ser motivado e orientado de algum modo para usá-la, o que pode constituir um empreendimento dispendioso.

Dois exemplos ilustrarão este problema. O sucesso inicial do projeto piloto da "India's Radio Rural Forum" não se repetiu quando adotado em escala nacional. Várias razões foram apontadas para explicar este acontecimento, mas a razão decisiva é que no projeto piloto, parte do orçamento foi destinado ao pagamento de uma turma de campo, que trocava idéias com grupos no-viços, ajudando-os a organizarem-se e atuando como um sistema de realimentação para o centro produtor. Quando o movimento começou a espalhar-se por todo o país, os orçamentos não mais permitiram pagar a turma de campo na mesma proporção, para continuar o importante trabalho de implementação. Embora, continuassem a ser distribuídos rádios e construídos transmissores, os benefícios foram menores de que prometia o plano piloto. Analisando recentemente essa experiência, uma equipe da UNESCO lembrou que para operação eficiente de semelhantes projetos, metade do orçamento total deveria ser destinado a salários da turma de campo [54] . Tais custos de implementação merecem uma consideração especial por parte dos prováveis usuários do sistema de TVE.

O projeto de televisão educacional Colombiano já tem 60 por cento de seu pessoal do corpo administrativo devotado à implementação. Enquanto sua operação cresceu em área entre 1964 e 1966, o número de pessoas dedicadas à instalação, à manutenção, e à produção só cresceu ligeiramente, mas durante o mesmo período, os engajados na implementação quase que dobraram. Por outro lado, a pesquisa mostrou que êsse crescimento no corpo administrativo ajudou os professores a utilizar a TVE em suas salas de aula [12] . Embora o projeto Colombiano, no fim de 1966, só tenha coberto 13 por cento de suas escolas primárias, seu custo estimado em dinheiro foi de quase duzentos mil dôlares e envolveu 80 pessoas. Explorando estes algarismos para o Brasil, os

custos estimados seriam da ordem de 2 a 3 milhões de dólares por ano com um corpo administrativo de 3000 pessoas [12] . Embora isto represente uma pequena porcentagem do projeto de TVE por satélite proposto para o Brasil e mesmo uma parte ínfima do seu orçamento educacional, tal soma deve garantir o sucesso do programa.

B. Avaliação. Pareceria natural pôr em dúvida a eficácia de uma inovação educacional. Entretanto, mesmo nos Estados Unidos, a questão é mais frequentemente evitada do que respondida. Um educador acentuou que, "num grande estado se estima que menos de meio por cento dos programas nacionais experimentais financiados foram sistematicamente avaliados" [36] . Não surpreende que seja praticamente inexistente a evidência pesquisada de maneira estatística, para uso de médias, em nações em desenvolvimento.

Teste e avaliação adequados, não são luxos de que um projeto desta espécie, especialmente no começo, possa prescindir. Isto é especialmente verdadeiro nas nações em desenvolvimento onde, pelo menos uma verificação de contas mais cuidadosa deve ser mantida de tal forma que o escasso investimento de capital possa ser gasto criteriosamente. O custo de avaliação deste projeto seria reduzido se a maior parte da avaliação fôsse concentrada no período inicial ou do projeto piloto, onde as dimensões limitadas produziriam uma alta remuneração ao investimento em pesquisa. No bem sucedido projeto piloto da Índia, com radiodifusão em praças públicas (foruns de rádio), foi destinado um terço de seu orçamento para a avaliação. Esse seria o modelo a considerar no projeto piloto de TVE, ou na primeira fase de operação integral do sistema.

C. Realimentação. Semelhante a qualquer sistema destinado à massa, o sistema de televisão educacional por satélite tem duas grandes restrições. A primeira, é que ele é basicamente um sistema de comunicações em um sentido. A segunda é que sendo grande a audiência e a área geográfica, a realimentação se opera ordinariamente sob difíceis circunstâncias. Em vista disso é necessário verificar em que áreas há necessidade especial de realimentação. O sistema para realimentação é mostrado esquematicamente na Fig. 2.1.

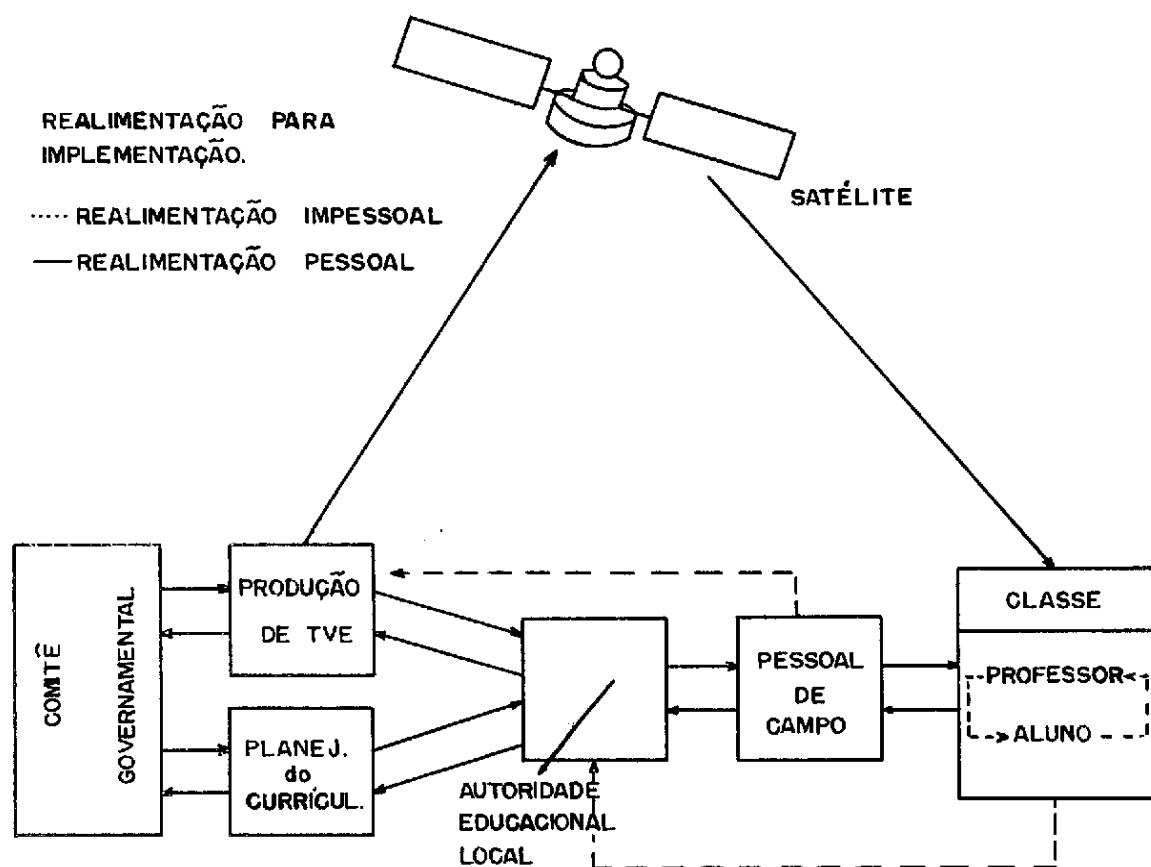


Fig. 2-1. REALIMENTAÇÃO PARA IMPLEMENTAÇÃO

Os grupos de produção e programação necessitam de realimentação de suas audiências. Eles precisam conhecer problemas técnicos como, por exemplo, saber se os professores da TVE estão falando muito rápido para a compreensão dos alunos rurais, se está sendo empregado material visual suficiente, ou se há demasiada matéria dada numa lição a ser acompanhada pela média da classe. Precisam ainda saber, além de muitas questões práticas, quantos alunos estão realmente apreendendo, e se os professores estão geralmente satisfeitos com os programas. E, programadores e produtores podem encontrar respostas a estas questões por meio de: (1) comentários por cartas não solicitadas (carta de admiradores), (2) comentários por meio de cartas, circulares, questionários, entrevistas ou conversações gravadas, solicitadas no estúdio, (3) encontros ocasionais face a face com professores, com grupos de produção e programação em estágios de verão em oficinas ou em convenções educacionais, e (4) recepção, quando se tornar tecnicamente praticável, de informação codificada mandada através do satélite para um computador que verificará resultados sobre números de pessoas examinadas, áreas de cobertura, preferências por certos programas, e assim por diante.

Além disso as autoridades educacionais locais necessitarão de realimentação para seus grupos administrativo e de ensino no que diz respeito às dificuldades particulares com os programas, às atitudes para com o projeto, e à extensão de aprendizagem dos alunos através dos programas. Eles podem querer usar tais materiais como contato direto com administradores e professores das escolas locais, contato indireto através da turma de campo, ou questionários e testes formais nos sistemas escolares para comparar grupos de controle nas escolas sem TVE com os das escolas que utilizam a nova tecnologia

gia.

Os professores e a turma de campo necessitarão de realimentação quer de superiores quer de inferiores na hierarquia educacional. Professores com dúvidas e queixas necessitarão frequentemente de respostas específicas que só o contato pessoal proporciona. Mesmo que recebam impressos que expliquem as metas do projeto e sirvam de guia para o cumprimento do programa, os professores podem necessitar de estímulo verbal para inovação e adaptação de métodos de ensino.

D. Custos Sociais: Possíveis Áreas de Resistência. Os maiores custos serão aqueles que não podem ser estimados em cruzeiros. Os sistemas educacionais são geralmente conservativos, principalmente em regiões tradicionalis - tas. Deve ser esperada certa resistência ao emprêgo do satélite de TVE nos sistemas escolares. Existem quatro grandes fontes de oposição ao projeto proposto: política, comercial, dos professores e das escolas particulares.

(1) Oposição política. O sistema do satélite pode ser especialmen - te atraente para aqueles que detêm o controle político ou social, pois êle pode ser utilizado para aumentar sua influência. A oposição ao grupo pode ser contrária ao sistema por temer (talvez corretamente) que êle seja usado exclusivamente por uma elite e esta não permita a participação total das classes inferiores [31]. Não parece haver nenhuma solução satisfatória para este dilema. Mesmo o auxílio da UNESCO e a consulta a especialistas, bem como a ajuda para a criação de um sistema de comunicações com vistas ao desenvolvimento nacional dependerá da solicitação de tal ajuda por parte do governo e da conciliação de interesses políticos e sociais.

(2) Oposição Comercial. As estações de televisão comercial já existentes podem argumentar que um sistema de TVE por satélite, patrocinado pelo governo, que não seja estritamente educacional, seria uma forma injusta de competição. Pode-se responder a este argumento considerando que um sistema de televisão misto de canais comercial e do governo (como o que opera na Inglaterra) pode também trazer benefícios para as estações comerciais. Na verdade, mais pessoas podem ser motivadas a comprar um aparelho depois de tomarem contato com a televisão através do canal educacional.

- (3) Oposição dos Professores. A maior resistência à inovação educacional virá provavelmente dos professores envolvidos. Se estes não forem treinados na utilização das novas técnicas educacionais tais como a TVE, o ensino em equipe, a instrução programada ou com o auxílio de computador, resistirão à introdução dessas técnicas ou negligenciarão seu emprego logo que elas tenham sido instituídas. Na transição da educação tradicional para a educação moderna, a rigidez dos professores, particularmente nas zonas rurais, pode causar grandes problemas. Particularmente os professores rurais, mal preparados, terão dificuldades decorrentes do seguinte: (a) talvez lhes faltem os objetivos claros da educação; (b) são os primeiros a sentir o choque entre o valor das inovações educacionais e os valores tradicionais de seus alunos; (c) eles próprios são produtos de um sistema tradicional de educação; (d) estão isolados de outros professores; e (e) a sua faixa de competência pode ser limitada (frequentemente as pessoas mais qualificadas ensinam em nível secundário ou universitário ou têm outro emprego nos centros urbanos) [5]. Os

sistemas de TVE da Colômbia e de Samoa estão atacando a maioria das causas que geram a oposição dos professores. Para superar essa oposição o sistema de satélite deve fornecer um sistema adequado de realimentação, objetivos claros, planos de aula, contato entre professores em conferências e cursos de verão, e melhoria do ensino através de programas de treinamento. Idéias como estas ajudarão a remediar a falta de treino e promoverão o ajuste educacional exigido pelo largo emprêgo da TVE, principalmente em áreas mais pobres. (4) Oposição das escolas particulares. Escolas particulares podem se opor ao sistema de satélite se forem excluídas dos benefícios dos programas. Estes grupos particulares devem participar do planejamento e do programa de TVE através do sistema. Como a maioria das escolas particulares é de nível secundário ou universitário, poucos serão os problemas no início do programa de TVE por satélite.

2.2.2 TVE em Diferentes Níveis Educacionais

As características do satélite de TVE variarão com os níveis educacionais para os quais ele é aplicado. Segue-se um breve resumo dos problemas de TVE e da sua potencialidade nos níveis primário, secundário e universitário, assim como na educação de adultos.

2.2.2.1 Primário

O uso do sistema de satélite para educação primária por televisão é mais apropriada às nações com algumas ou todas as seguintes características:

1. Uma língua nacional.
2. Uma grande proporção de escolas com educação pública gratuita.
3. Um sistema educacional bem centralizado com número suficiente de administradores treinados.
4. Sistema e ano escolares uniformes.
5. Líderes, desejosos de modernização, que possam inspirar educadores a fazer mudanças.
6. Um desempenho econômico suficientemente grande para criar condições para a existência de um sistema unificado de escolas e para introduzir a organização de séries.

Ao contrário do que geralmente se imagina, um professor com um aparelho de televisão na sala de aula não pode ensinar mais crianças. Se as crianças têm menos de 10 anos de idade, seu número máximo para um apredizado e eficaz parece ser de cerca de cinquenta. Na realidade, a instalação de aparelhos de televisão em salas de aula nas regiões rurais colocaria em destaque, a necessidade de reduzir o número de estudantes normalmente lecionados por um professor sobrecarregado. O que faz a TVE é permitir ao instrutor em sala apresentar aos estudantes o assunto desejado através dos mais talentosos e preparados professores da nação, a partir do estúdio da TVE.

No seu atual estágio de desenvolvimento, o Brasil é forçado a utilizar professores primários ou assistentes de ensino que são precariamente preparados nas matérias que devem ensinar. Daí resulta muito frequentemente, educação deficiente e elevado índice de desistências. Com o suplemento da TVE, pode ser alcançada, com os professores e assistentes já disponíveis no país, uma educação primária bem mais efetiva. Em paralelo com isso, o treina

mento do pessoal pode continuar através de programas especializados da própria TVE. Este método está sendo utilizado por alguns países para superar sua falta de professores treinados.

Eventualmente, através de adestramento regular dos professores, o Brasil conseguirá pessoal bem treinado para todas as escolas primárias. Neste estágio a TVE terá um impacto menos dramático, mas ainda significativo, na qualidade da educação primária. Os assuntos básicos podem ser, em média, apresentados mais efetivamente pelo professor do estúdio porque ele dispõe de mais tempo para preparar cada programa, pode apresentar demonstrações mais extensas e/ou excursões educativas, pois é de esperar que tenha mais talento que o professor típico do país. Além disso, inovações ou mudanças dos tópicos considerados importantes podem ser introduzidas na educação primária, mais rapidamente, através de mudanças na programação da TVE. Essas vantagens da TVE são muito menos evidentes e essenciais do que as conseguidas quando uma nação sofre um déficit de professores qualificados. No entanto, a TVE representa uma porcentagem adicional muito inferior no custo dos sistemas e ducacionais já desenvolvidos do que nos sistemas em desenvolvimento.

Além das considerações acima, outros fatores devem ser considerados na implementação da TVE no nível primário. Nas áreas rurais, pode existir o problema de conseguir um aposento separado para o aparelho de televisão. Sempre que possível deverá existir tal aposento em cada escola, para as aulas pela televisão, que também poderá servir de biblioteca ou para outros fins e, após o período de aulas pode ele ainda ser utilizado para programas de educação de adultos. Quando as classes de escolas primárias para crianças são remanejadas para adaptação ao horário do programa que é, necessariamente,

intensivo, é mister resolver o problema de logística. A Colômbia adotou o sistema de dar um intervalo de cinco minutos entre as aulas televisadas de quinze minutos o que permite mudanças de classes. O problema de escolas primárias que têm mudanças duplas cada dia terá de ser resolvido pelo diretor de programas.

A instalação de aparelhos de televisão, logicamente, progredirá das zonas urbanas para rurais, iniciando-se onde a eletricidade é disponível (embora possam ser feitas previsões para localidades sem eletricidade), onde as escolas possam fornecer segurança para o equipamento, onde a presença de quatro ou cinco classes e vários professores garanta a instalação, onde a televisão possa ser usada à noite para educação da comunidade e diversão e, acima de tudo, onde professores e comunidades estejam altamente motivados pela introdução da nova tecnologia.

Os professores de sala de aula podem julgar que realmente as aulas da TVE os auxiliem a melhorar suas aulas, uma vez que se beneficiarão da observação dos métodos de ensino dos professores da televisão e do trabalho com guias e material de revisão que deve acompanhar cada curso da televisão [12].

O problema parece consistir em saber quais os incentivos necessários a conduzir os professores a usarem a televisão em suas salas. A experiência da televisão educacional Colombiana de 1963 a 1967 indica que uma vez instalado o sistema só uma pequena proporção de professores resiste ao seu uso. As aulas pela televisão podem parecer, no início, uma ameaça a alguns professores, mas uma vez compreendido que o sistema os ajudará a aumentar sua competência profissional, eles, de um modo geral, reagem bem às aulas e mesmo as consideram como parte de sua carreira de professor [12]. Por outro

2-20

lado, se eles forem convenientemente preparados para receber essas aulas, se lhes é dada a oportunidade de ajudar no planejamento inicial, poderá ser minimizada qualquer possível oposição.

2.2.2.2 Secundário

Quase todas as nações em desenvolvimento estão enfrentando difficuldades quanto à educação secundária; problemas de capacidade, de orientação, e qualidade de educação inadequadas.

Na maioria dos países a escola secundária serviu, no passado, apenas como um degrau para a educação universitária. Somente aqueles que tencionavam ingressar numa universidade compareciam às escolas secundárias. Estas últimas eram na maioria escolas preparatórias para academias e universidades e não escolas técnicas ou vocacionais. Essa atitude está começando a mudar, havendo hoje governos que atribuem maior importância aos cursos secundários que preparem estudantes que contribuam para o desenvolvimento nacional como técnicos, trabalhadores qualificados e semi-qualificados, ou empregados do comércio.

São muitos os problemas que a educação secundária encontra e, õbvia mente, a televisão educacional não responderá a todas as questões, mas o sistema de TVE pode contribuir da seguinte maneira para a solução do problema:

- (1) Melhorando a qualidade do ensino técnico nas escolas acadêmicas e não acadêmicas atraindo, assim, mais estudantes para essas escolas e talvez convencendo aos pais de que o sistema é valioso.

- (2) Substituindo pelas aulas de TVE os professores secundários de algumas matérias, uma vez que os estudantes desse nível necessitam menos supervisão individual do que os primários e podem ser mais motivados a aprender em classes mais numerosas de TVE noturnas sobre assuntos técnicos, a TVE poderia beneficiar aqueles que tenham abandonado a escola mas que necessitam de aprendizado adicional.
- (3) Fornecendo treinamento especial, em áreas comuns a vários trabalhos diferentes, ao número crescente de estudantes secundários que necessitam ser treinados como técnicos nos setores da indústria em expansão no Brasil.
- (4) Auxiliando, através de programas especiais de treinamento para professores já em atividade e para aqueles em preparação, a expansão necessária do sistema de escolas secundárias que requer um grande aumento no número de professores secundários.

2.2.2.3 Universidade

A educação no nível universitário poderia beneficiar-se de um sistema de TVE. Entre os caminhos a seguir enumeram-se os seguintes:

- (1) As universidades de todo o país poderiam unir-se através do satélite e partilhar seus membros mais qualificados para ministrarem cursos especializados que de outra forma não poderiam, provavelmente, ser lecionados na maioria das universidades.

- (2) Os professores universitários poderiam ter seu número de horas de aula reduzido pois seriam capazes de oferecer certos cursos básicos em video-tape, o que lhes permitiria dedicar-se à pesquisa e a uma melhor preparação para as aulas que estão dando.
- (3) A universidade pode beneficiar-se do satélite como um canal de informação através do qual podem ser recebidos dados de outros centros universitários do continente, dados esses disponíveis tanto para a pesquisa como para o ensino. É de notar-se que, devido ao seu pequeno número e às suas consideráveis dimensões as universidades seriam capazes de suportar, no solo, sistemas similares aos terminais de comunicações telefônicas. Os serviços acima usariam os canais de comunicações do satélite proposto aos invés dos canais de TVE.

2.2.2.4 Educação de Adultos

Além das aulas em vários níveis de educação formal, sugeridas para retransmissão para aqueles que frequentam a escola, existe outra área de programação destinada à população não escolarizada. No nível destinado a adultos, o satélite de TVE é a ferramenta que além de única é flexível, pois pode alcançar os cidadãos em suas residências, em centros comunitários como escolas, em fábricas e em outros locais de reunião; pode irradiar notícias, eventos cívicos, e esportes nacionais para as mais remotas regiões; pode programar qualquer assunto que contribuirá para o desenvolvimento do homem, pode facilitar a interação dentro do sistema social e criar um sentido de identidade

de nacional desmarginalizando os habitantes das áreas remotas. Talvez possa ainda, o que é de suma importância, fornecer os meios de aumentar o senso de dignidade e o valor do indivíduo na sociedade.

Existem duas áreas principais onde o sistema de TVE daria a maior contribuição ao desenvolvimento nacional: a alfabetização e o desenvolvimento da comunidade. Como um recente número da revista "The Economists" [41] afirma que o pragmatismo vem substituindo o quadro romântico, em vias de superação, da alfabetização em que "camponeses idosos esforçam-se para aprender a ler em pobres salas de aula de aldeias". Governo e educadores começam a encarar a alfabetização "não como uma chave mas como uma consequência, e mais útilmente como um acelerador, do crescimento econômico". Assim a nova aspiração à alfabetização funcional está intimamente ligada ao treinamento vocacional e à previsão de empregos onde hoje adultos, recém alfabetizados, possam fazer uso do seu aprendizado. Resumindo, a alfabetização não cria empregos onde eles não existem e a televisão, como uma ferramenta para a alfabetização, será limitada pela capacidade econômica.

Se a alfabetização deve ser funcional então tudo indica que os programas de alfabetização devam ser individualizados para as comunidades urbanas e rurais e constituídos por diferentes grupos de programas destinados ao desenvolvimento da comunidade. A estratégia da apresentação necessita ser estudada mais cuidadosamente. Experiências na União Soviética, na Itália, no México e em outros países onde se fazem campanhas de alfabetização, deveriam ter concorrido para facilitar o planejamento, mas isso, infelizmente, não aconteceu. Em cada novo empreendimento devem ser considerados os fatores característicos da situação e introduzidos os ajustes necessários.

2.2.3 Televisão Educacional no Planejamento Nacional

A propensão em efetuar despesas para um sistema de TVE por satélite dependerá dos custos iniciais do programa, dos custos de manutenção, da adaptação do programa à solução das necessidades nacionais, e da pressão internacional para a existência de tal sistema. A avaliação dos gastos com tais programas deve ser feita em comparação com os destinados à industrialização ou à expansão em outras áreas; essa avaliação deve levar em consideração a prioridade dos programas. Sô se justifica a aceitação do programa com entusiasmo se êste fôr baseado no reconhecimento de que um desequilíbrio estratégico no programa total de desenvolvimento econômico, como o que seria causado pela introdução de comunicações avançadas em regiões atrasadas, teria como efeito posterior a multiplicação do desenvolvimento em outros setores da economia.

Caso se deseje estabelecer como projeto demonstrativo um programa pilôto, surgirão numerosos problemas. Tal programa acarreta um considerável desperdício de recursos de natureza irreversível. Os custos envolvidos não são apenas monetários, pois tal programa exige o emprêgo de material humano. Durante a vida de um curto programa pilôto não é possível vislumbrar os benefícios a longo prazo, decorrentes de uma grande unidade executiva centralizada, economicamente eficiente e com administração bem proporcionada. Entretanto, pareceria desejável obter-se uma solução conciliatôria para aplicação de recursos a longo prazo. Ao mesmo tempo, deve ser considerado que a vida do satélite varia usualmente entre 3 a 10 anos. Além do mais, as mudanças na administração governamental e na política, e ainda as condições econômicas nacionais afetam o clima de opinião sôbre tal investimento educacional. A im-

plementação de um sistema de satélite deve, pois, ser cuidadosamente pesada pelos educadores e planejadores econômicos. Daí a necessária assessoria à CNAE em tais setores pelos Ministérios da Educação e do Planejamento.

2.2.3.1 Custos Educacionais e Benefícios

Num programa com televisão educacional por satélite, pode surgir a pergunta se é possível racionalizar os custos iniciais do sistema em termos de um aumento na produção e no lucro nacional efetivo. De fato haverá um aumento das unidades absolutas da economia nacional real; mas, a curto prazo, esse aumento não será proporcional aos custos de instalação do satélite de comunicações e sistema de educação.

O problema de atribuir custos e benefícios sociais à educação origina-se da dificuldade de se atribuir valor à educação em termos monetários. O problema é também o de saber se é exclusiva a escolha entre uma decisão ética e outra econômica. Existe um sentimento crescente de que tanto a igualdade como a eficiência econômica na partilha de recursos e na distribuição de lucros são considerações relevantes. A política educacional tem sido de há muito justificada com base na justiça social e de sua profunda influência na estrutura social.

Os custos e benefícios oriundos da educação podem ser de duas categorias. Podem eles ser distinguidos de acordo com quem paga ou quem ganha, em custos e lucros privados ou em custos e benefícios sociais; podem ainda ser divididos de acordo com as assim denominadas componentes de produção e consumo.

Lucros privados são pagos pelo estudante e sua família enquanto que custos e benefícios sociais são as perdas e ganhos da sociedade como um todo devidos à educação do estudante.

Um benefício na produção provém geralmente de um aumento na produtividade marginal do indivíduo. Isso significa, no nível particular, que o homem educado receberá salários relativamente mais altos pelo seu trabalho do que seu colega sem instrução, supondo um mercado de trabalho perfeitamente competitivo. No nível social, isto significa que o emprego de uma força de trabalho educada e portanto mais produtiva, conduzirá a uma maior produção em todo país. Considerando que a educação tem estas consequências, um investimento na educação é um investimento produtivo similar a um investimento de capital físico.

É fora de dúvida que grande parte do numerário, investido na educação, é um investimento em capital humano. Além do mais, a educação permite ao indivíduo uma vida mais rica, mais cheia, o que tem pouco valor comercial. Mas no nível social, entre outras coisas, esta vida mais cheia pode gerar cidadãos politicamente conscientes. Tais compensações não monetárias são categorizadas como benefícios de consumo. Dinheiro investido na educação, tendo em vista a melhoria da "qualidade da vida", pode ser encarado como o pagamento de um inatingível bem de consumo.

Não existe uma separação clara entre benefícios de produção e de consumo. Considere-se, por exemplo, a alfabetização universal. A alfabetização de adultos pode certamente contribuir para um aumento da produtividade. Um trabalhador pode aprender a usar uma máquina lendo uma fôlha de instrução, o que poupa o tempo do instrutor e talvez algum do seu. Mas, por outro lado,

a alfabetização afeta todo o contexto da vida diária do trabalhador. É difícil, se não impossível, decidir onde terminam os benefícios da produção e onde começam os benefícios do consumo.

Quando se pensa em televisão educacional por satélite, os primeiros custos que são usualmente considerados são aqueles do próprio satélite, do veículo de lançamento, da estação no solo, das antenas, e dos aparelhos de televisão nas salas de aula e centros comunitários através do país. Os custos a serem considerados em seguida são os da produção do programa, dos professores adicionais, do pessoal do campo para implementar o sistema e manter o equipamento, e para o pessoal administrativo para planejar e coordenar o projeto. Estes custos estão incluídos no modelo de custo para TVE discutido na Seção 2.2.6.

Um dos mais importantes componentes dos custos educacionais para a sociedade, pelo menos no nível secundário e nos que lhe sucedem, decorrem dos ganhos de que abrem mão os estudantes enquanto na escola. Uma vez que estes custos se aplicam a todos os esquemas educacionais, quer usando TVE ou não, eles não estão incluídos no custo da inclusão da TVE nos programas educativos. Entretanto, custos de "ganhos perdidos" afetam, realmente, a distribuição nacional de recursos entre diferentes níveis educacionais e entre educação e outras necessidades exigindo o estabelecimento de prioridades e provas para implementação do sistema de TVE por satélite.

Os salários não ganhos durante o curso escolar devem ser a conta do investimento feito pelo próprio estudante na educação. O custo para a sociedade consiste na perda de fato da capacidade produtiva, e é estimado com base em dados para os Estados Unidos, Israel, México e Venezuela que mais de 60%

dos custos de um estudante na escola são estes "custos de oportunidade" [49]. Em países de baixa renda e nos de economia predominantemente agrícola, os salários perdidos tornam-se importantes numa idade baixa e constituem mesmo uma porcentagem ainda maior dos custos escolares.

A curto prazo, o custo total da educação por estudante é a combinação dos custos diretos (custos iniciais da educação) adicionados aos custos indiretos (vencimentos perdidos). O estudante, ou sua família, geralmente paga a maior parte do custo de sua educação em salários não ganhos e ocasionalmente em taxas e matrícula. O equilíbrio dos custos depende de sua distribuição entre vários grupos no país.

A falta de conhecimento da distribuição de custo está combinada com a complicação de se ter tanto as componentes de produção como as de consumo na equação de custo-benefício. Usualmente, ao estimar-se as taxas de retorno de um investimento educacional, existe uma tendência a supor que todos os custos são destinados a investimentos produtivos. Entretanto, se uma fração apreciável do pagamento é destinada aos bens de consumo e a futuras satisfações de ordem espiritual dentro da sociedade, então a taxa de retorno real sobre a componente produtiva do investimento será maior do que a geralmente estimada.

Do ponto de vista da eficiência econômica, desde que seja feito um investimento ótimo do ponto de vista social, não importa quem investe na educação, se o indivíduo ou o governo ou qualquer outro grupo. Além do mais, em economia clássica, dadas as hipóteses de um mercado de trabalho perfeitamente competitivo e um perfeito mercado de capital, resultará o mais eficiente investimento em "capital educacional". A distribuição dos custos entre estudantes ou firma ou governo é uma questão de financiamento e questões deste

tipo são proeminentes, especialmente quando está em causa um projeto grandioso como o da educação universal por televisão via satélite. Além do mais, as imperfeições reais existentes nos mercados de capital e de trabalho conduzem à divisão de responsabilidade pelo pagamento e, quase sempre, é provável que ocorra um subinvestimento e a educação é desprezada.

Um certo problema é a incerteza inerente ao investimento em capital humano, não importando quem faça o investimento de potencial na educação, pois é, da ordem de uma vida humana média. É considerável o problema de estimar os benefícios ao longo de tal período.

Surge, então, a pergunta sobre quem deve pagar um grande programa educacional. Certamente, numa nação em desenvolvimento, o público, em geral, não pode ser taxado para cobrir tal projeto. Mesmo levando em conta o fato de que os governos têm a capacidade reduzida para exigir tais pagamentos como taxas progressivas de lucro e usualmente dependem do lucro tirado de tarifas sobre artigos importados, existe o problema de que uma população não alfabetizada e semi-alfabetizada pode não querer pagar por um tal sistema.

Por outro lado, a indústria também tem suas razões para não querer suportar esta carga de taxas: Uma empresa particular pode estar interessada em investir no treinamento dos empregados comprando um aparelho de televisão para que os trabalhadores possam assistir tele-aulas antes e depois das horas de trabalho, mas só se o treinamento for específico e não geral. O treinamento específico aumenta a produtividade de um trabalhador dentro da firma, mas não aumenta apreciavelmente seu valor no mercado de trabalho caso deixe de trabalhar para aquela companhia. Por outro lado, o treinamento geral aumenta a produtividade do trabalhador dentro da indústria como um todo e o capacita a exigir um salário maior. Não existem facilidades para um tal trei

namento geral, particularmente para adultos, e particularmente nas áreas ru
rais.

O investimento educacional visa aumento, no fim de algum tempo, da produção na sociedade. Quando uma nação subdesenvolvida sacrifica o consumo real e investe a maioria de seus recursos em maquinaria pesada para indus
tralização, ela o faz para que em 5 ou 10 anos a sua capacidade produtiva (e assim seu estoque total de recursos) seja aumentada. Similarmente, uma so
ciedade investe recursos em capital humano (em forma de educação pública, saú
de pública, programas de treinamento de energia humana, etc.) na expectativa de que seja aumentada, em cêrca de uma geração, a variedade de opções de pro
dução e consumo. Ao avaliar a conveniência de um dado investimento, o país de
ve pesar os custos, isto é, o valor das oportunidades de consumo versus inves
timentos alternativos que devem ser retidos - contra os benefícios de maio-
res oportunidades no futuro.

Do investimento na educação resulta um aumento gradual das possibi-
lidades de produção da sociedade. A isso podem ser adicionados os aumentos
repentinos da produção, imprevisíveis e frequentemente dramáticos, que re-
sultam de descobertas tecnológicas possibilitadas, em parte, pela educação
e em parte pelo aumento das possibilidades de comunicações e de intercâmbio
com nações têcnicamente avançadas. Deve notar-se que algumas estimativas in
dicam que apenas cêrca de 20% do crescimento econômico dos Estados Unidos
nos últimos 20 anos é atribuído a aumentos no estoque de capital físico [7].
Isso deixa aproximadamente 80% para ser explicado por "outros fatores" [32].
Não há dúvida de que o investimento em capital humano, especificamente na e
ducação, é um dêsses fatores.

Ao decidir sobre o investimento social no satélite de TVE, deve ser compreendido que a educação afetará o padrão da sociedade como um todo pois ela molda instituições econômicas uma vez que é aumentada a troca de informações entre comprador e vendedor, criando um sentido de língua comum, cultura e interesse entre o povo, e promovendo um espírito de livre investigação, avaliação, crítica e mudança.

2.2.4 Potencial da Televisão para Educação e Desenvolvimento no Brasil

2.2.4.1 Condições Existentes

O Brasil é o maior país da América Latina, com uma população superior a 80 milhões de habitantes, e com uma área de 8.513.844 km². A maior parte de sua população está concentrada numa faixa de terra de poucas centenas de quilômetros de largura ao longo da extensa costa. A maioria de seus centros urbanos está aí localizada (havia 37 cidades com mais de 100.000 habitantes em 1965) vivendo 90% da população em 30% do território. A urbanização, todavia, alcança apenas 50% dos habitantes, vivendo a outra metade deles em áreas rurais. O desenvolvimento econômico é bastante desigual. Os estados do sul e do centro têm ricas fazendas e setores industriais que os tornam, relativamente abastados. O nordeste, subdesenvolvido, e a vasta região do norte e do interior têm baixo rendimento per capita. A população está crescendo rapidamente (3,1% por ano) e já o faz a muito tempo. Foi estimado em 1965 que cerca de 60% da população tinha idade inferior a 20 anos [17]. Isso significa, entre outras coisas, que uma força ativa de trabalho relati-

vamente pequena deve sustentar um grupo não trabalhador em idade escolar. Essa carga econômica pode ser compreendida observando que em 1952, o Brasil tinha 30% de sua população abaixo de 15 anos, tendo sido êsse grupo sustentado pelos 18% que representavam a fôrça ativa de trabalho. Ao mesmo tempo, a França com sua taxa de nascimento estável e muito baixa tinha 30% de sua população abaixo dos 20 anos e êsse grupo era sustentado por cêrca de 50% da população.

A título de ilustração apresentamos na Tabela 2-1 alguns dados coligidos pelo Ministério do Planejamento e Coordenação Geral que são auto-explicativos e que apresentam certos perfis da situação econômica brasileira.

O desenvolvimento do sistema escolar brasileiro é principalmente uma ocorrência deste século. Embora o Brasil se tivesse tornado independente da Europa na mesma êpoca que os seus vizinhos latino americanos, isto é, no início do século XIX, êle viveu até 1889 como um império dirigido por uma família real transplantada. Por ocasião da primeira República, as escolas primárias contavam apenas com 13,6% das crianças em idade escolar, muitas das quais de famílias de alta classe. As poucas escolas secundárias que existiam eram particulares e até 1920 não foi criada universidade oficial alguma [21]. Quando a economia brasileira começou a desenvolver-se sob o governo do Presidente Vargas, a partir de 1930, o sistema educacional também começou a expandir-se rapidamente (ver Tabela 2-2).

PRODUTO INTERNO BRUTO

%
VARIAÇÃO ANUAL

1960	6,7	1964	3,1
1961	7,3	1965	3,9
1962	5,4	1966	4,4
1963	1,6	1967	5,0 *

* ESTIMATIVA PRELIMINAR

**VARIAÇÃO
DO PRODUTO REAL**
(%)

	1963	1964	1965	1966
AGRICULTURA	1,0	1,3	13,8	-2,0
INDÚSTRIA	0,7	5,0	-4,7	11,8
COMÉRCIO	1,3	3,1	5,6	5,6
TRANSP. E COMUN.	6,2	3,6	0,8	5,7
GOV. E SERVIÇOS	2,4	2,4	2,4	2,5
ALUGUEIS	3,0	3,0	3,1	3,0
PRODUTO REAL	1,6	3,1	3,9	4,4

OBS: ESTIMATIVA PRELIMINAR (FGV)

**FUNDO DE PARTICIPAÇÃO
DE ESTADOS E MUNICÍPIOS**

ESTADOS*	PARTICIPAÇÃO	VALOR DISTRIBUÍDO - R\$ MILHÕES	
	%	1967 (1)	1968 (2)
ACRE	1,5	9,0	20,5
AMAZONAS	2,2	13,2	30,1
PARÁ	3,1	18,6	42,4
MARANHÃO	5,6	33,6	76,6
PIAUÍ	3,1	18,6	42,4
CEARÁ	6,8	40,8	93,0
RIO GRANDE DO NORTE	2,5	15,0	34,2
PARAÍBA	3,6	21,6	49,2
PERNAMBUCO	5,8	34,8	79,3
ALAGOAS	2,6	15,6	35,5
SERGIPE	2,1	12,6	28,7
BAHIA	10,5	63,0	143,5
MINAS GERAIS	12,8	76,8	174,8
ESPÍRITO SANTO	2,3	13,8	31,4
RIO DE JANEIRO	3,2	19,2	43,7
GUANABARA	0,8	4,8	10,9
SÃO PAULO	8,8	52,8	120,3
PARANÁ	5,9	35,4	80,7
SANTA CATARINA	3,3	19,8	45,1
RIO GRANDE DO SUL	5,7	34,2	77,9
MATO GROSSO	2,2	13,2	30,1
GOIÁS	4,2	25,2	57,4
DISTRITO FEDERAL	1,3	7,1	17,8
TERRITÓRIOS	0,1	0,6	1,4
T O T A L	100,0	600,0	1387,0

(*) INCLUI OS MUNICÍPIOS - (1) DADOS PROVISÓRIOS - (2) ESTIMATIVA

**PARTICIPAÇÃO DAS INDÚSTRIAS
DE TRANSFORMAÇÃO
NO EMPREGO E NO PIB**

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL

P A Í S E S	% PROD. INDUSTRIAL PIB	% EMPREGO INDUSTRIAL POPULAÇÃO EMPREGADA
BRASIL (1964)	29,9	8,3 (2)
ARGENTINA (1964)	34,0	25,0 (2)
MÉXICO (1964)	25,2	16,0 (2)
JAPÃO (1960)	30,0	-
ITÁLIA (MÉDIA 1949-59)	30,5	24,5
HOLANDA " " "	30,3	29,5
CANADÁ " " "	28,2	25,3
ESTADOS UNIDOS " " "	30,3	25,6
DINAMARCA " " "	27,1	29,6
NORUEGA " " "	28,4	23,4
GRÉCIA " " "	17,7	15,9 (2)
ESPAÑA " " "	23,2	18,2 (2)
IRLANDA " " "	19,3	15,5
PORTUGAL " " "	34,7 (1)	19,7 (2)

NOTAS: (1) Inclui Construção Civil

(2) Emprego referido à população economicamente ativa

Tabela 2-2

CRESCIMENTO DO SISTEMA EDUCACIONAL BRASILEIRO [21]

1930-1960

	1930		1960	
	Estudantes	Porcentagem da população em idade escolar	Estudantes	Porcentagem da população em idade escolar
Primário	2.085.000	43	6.300.000	73,5
Secundário	90.000	1,7	1.050.000	9,6
Universidade	17.000	0,6	95.000	1,7

A taxa de crescimento da população, aliada à expansão muito rápida do sistema educacional durante os últimos 30 anos, mostra que os líderes brasileiros não foram capazes de lutar contra os problemas antagônicos da expansão e da qualidade da educação. A expansão supera geralmente a qualidade da educação.

Em 1961 foi feita uma tentativa de iniciar algumas reformas no sistema com a passagem da lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional da Educação Nacional. Dois objetivos foram alcançados: foi introduzido no sistema escolar o planejamento como um conceito, e removida a política tanto desse planejamento como da solução dos problemas educacionais. Quaisquer que tenham sido os frutos decorrentes dessa lei, muitos dos mais profundos problemas de reforma permaneceram intocáveis. É bem verdade que com a criação de um Conselho Federal de Educação e do novo sistema orçamentário que exige planejamento por parte dos estados, vem surgindo gradualmente um sistema mais centrali

zado. Entretanto, não é possível atender à pressão para aumentar as matrículas e para melhorar a qualidade do ensino apenas com o planejamento.

O Brasil encontra problemas em todos os níveis de educação. Diversos são os exemplos. No nível primário existem duas necessidades prementes: a de abaixar a alta taxa de desistências, especialmente nas zonas rurais e a de melhorar a qualidade da instrução. Em 1964-1965, por exemplo, o censo escolar revelou que 54% dos estudantes primários matriculados compareciam às escolas rurais onde apenas 36% dos professores trabalhavam. Dêsse último grupo de aproximadamente 100.000 professores, quase dois terços tinham apenas educação primária (ou menos que esta) [9] . A taxa de desistências no nível primário está indicada na tabela 2-2, onde os números mostram que existe uma considerável diferença entre a porcentagem do grupo inscrito nas escolas primárias e do inscrito nas secundárias. Em 1960, 73,5% das crianças em idade escolar foram matriculadas no primário, mas apenas 9,6% o foram no secundário. Em outras palavras, houve uma taxa de desistências de quase dois terços nos 4 anos de educação primária. Um outro exemplo relativo ao estado nordestino do Rio Grande do Norte oferece praticamente o mesmo resultado. Aí das 1000 crianças em idade escolar, 80% foram matriculadas no nível primário, mas dessas 800, só 172 concluíram realmente os 4 anos sendo de 62,8% a taxa de desistências. Apenas 92 dos 172 começaram o curso secundário (o que requer usualmente um ano de preparo especial para a prestação de rígidos exames de admissão); do mesmo grupo, só restaram 30, seis anos depois, para ingressar na universidade. Assim, dos 80% que se registraram no curso primário, apenas 3% entraram na universidade, o que representa uma taxa de desistências de 77% em 10 a 11 anos de escola [24] .

A maioria das escolas secundárias são particulares e portanto muito caras para que a maioria possa frequentá-las. O debate em torno da maior ou menor conveniência de serem públicas ou privadas as escolas desse nível é essencialmente agudo. Os números para todos os níveis mostram que 90% do total de estudantes frequentam escolas primárias públicas, mas aproximadamente 66% dos estudantes secundários frequentam colégios particulares e cerca de 42% cursam universidades particulares [21,39] . Outro aspecto das escolas secundárias é o currículo. Tradicionalmente, a escola secundária foi orientada no sentido de preparar para a universidade, sendo o currículo grandemente acadêmico e não técnico. Escolas vocacionais (incluindo comerciais, agrícolas, técnicas e de treinamento para professores) no nível secundário só contavam, em 1961, com cerca de 25% do número total de matrículas [57] . Mas ainda aqui os números não historicam completamente os fatos. As escolas vocacionais são geralmente consideradas como lugares para aqueles que não podem fazer o ginásio. Elas não são tão bem equipadas (material e humanamente) como as escolas preparatórias para as universidades.

As instituições brasileiras de educação superior refletem diversos problemas crônicos encontrados na maioria das universidades latino-americanas. O governo federal fez face, na última década, a custos verticalmente crescentes com a educação universitária. Circulam rumores que iriam ser cobradas taxas em universidades públicas porque uma parte cada vez maior dos orçamentos de algumas das nações latino americanas destina-se à educação. Este problema é conjugado com outro: a maior parte das equipes das universidades consta de professores de tempo parcial (cerca de 90% em algumas universidades) [39] , muitos dos quais são pobremente treinados, principalmente nos

ramos técnico e científico. Outro problema é o número desproporcional de estudantes inscritos nos campos profissionais tradicionais. Em 1961, por exemplo, as universidades brasileiras tinham um total de 100.000 estudantes assim distribuídos: humanidades, 11%; educação, 6%; belas artes, 5%; direito, 24%; ciências naturais, 4%; engenharia, 11%; medicina, 20%; agricultura, 3%. É de notar-se que medicina e direito, duas profissões tradicionais na América Latina, absorvem 44% de todos os estudantes universitários enquanto que a engenharia e as ciências naturais só contam com 15%.

Não tentamos aqui fazer um estudo exaustivo dos problemas de educação no Brasil, mas apontar apenas certas dificuldades em cada nível de educação. A próxima seção é um resumo desses problemas, e contém ainda os objetivos para a educação brasileira.

2.2.4.2 Objetivos do Desenvolvimento e Educação

Um dos propósitos da Lei de Diretrizes e Bases de 1961 foi o de introduzir o planejamento na educação brasileira. Esperava-se com isso que as necessidades do país em energia humana pudessem ser eficientemente satisfeitas caso o planejamento fosse adequado para prover os estudantes do necessá-rio treinamento em áreas estratégicas. Existe uma relação íntima entre o crescente investimento na educação ou capital humano e o crescimento econômico do Brasil. É de esperar que pessoas de certa capacidade sejam graduadas em todos os níveis do sistema escolar e comecem a contribuir para a economia do país. No entanto, antes que isso seja possível, existem outros problemas mais prementes a serem resolvidos. Em 1962, a Comissão para o Planejamento da Edu

cação (COPLED) enumerou as seguintes objetivos a serem atingidos no Brasil em 1970 [21] :

A. Quantitativo: Registros

- 1 - 100% na faixa de 7 a 11 anos no primário
- 2 - 70% na faixa de 11 a 12 anos no quinto e sexto anos (os quais seriam adicionados às escolas primárias)
- 3 - Os outros 30% da faixa de 11 a 12 anos no ginásio (primeiro ciclo)
- 4 - 50% da faixa de 13 a 14 anos no ginásio (primeiro ciclo)
- 5 - 30% da faixa de 15 a 18 anos no ginásio (segundo ciclo)
- 6 - 8 a 10% do grupo acima de 18 anos nas universidades

B. Qualitativos: Treinamento de Professores

- 1 - Todos os professores primários com algum preparo especial
- 2 - 20% dos professores primários com um curso ginásial de 4 anos.
- 3 - 60% dos professores primários com 3 anos de escola normal (segundo ciclo)
- 4 - 20% dos professores primários com treinamento pós-secundário
- 5 - Quinto e sexto anos do primário e todas as classes secundárias operando em regime integral de 6 horas diárias
- 6 - Pelo menos 30% do pessoal universitário em tempo integral

Em resumo, maior número de alunos deve receber aulas de professores melhor treinados. Entretanto, muitas das mudanças hoje necessárias estão além dessa simples dimensão. Se este é o primeiro passo, o segundo é a reforma fundamental da estrutura educacional: organização, funções sociais,

e métodos de ensino. Moreira e Havighurst sugeriram alterar o sistema de educação brasileira da maneira seguinte [21] :

A. Estrutura Educacional e Organização

- 1 - Estabelecer uma estrutura mais centralizada*
- 2 - Instituir um sistema mais homogêneo*
- 3 - Reduzir a diferença entre as classes sociais (por exemplo, escolas secundárias são particulares e cobram taxas).*
- 4 - Prover um maior envolvimento da comunidade na educação.*

B. Funções Sociais do Sistema Escolar

- 1 - Aumentar a variação da cultura, e mesmo sua conservação*
- 2 - Promover maior mobilidade, e reduzir o conservatismo.*
- 3 - Aumentar o treinamento técnico, e reduzir as generalidades.*
- 4 - Criar uma mentalidade mais cooperativa, reduzindo o individualismo.*
- 5 - Promover maior participação da mulher na sociedade*

C. Mudanças nos Métodos de Ensino

- 1 - Ministrare um conjunto de conhecimentos mais abertos e obedecendo a uma orientação.*
- 2 - Transmitir conhecimentos mais especializados e de natureza experimental.*
- 3 - Reduzir o autoritarismo e aumentar a participação do aluno.*

É evidente que o sistema proposto de TVE por satélite contribuiria eficazmente em muitas dessas áreas. Na próxima seção serão esquematizados al-

guns usos potenciais deste sistema.

2.2.4.3 Capacidade dos Projetos de TVE

A capacidade da TVE de ajudar o Brasil a alcançar os objetivos educacionais estabelecidos e resolver alguns dos problemas no sistema pode ser melhor considerada sob vários aspectos. O sistema proposto através do Projeto SACTI poderá contribuir para a educação de adultos e em cada um dos três níveis de educação formal: primário, secundário, e universitário. Apesar do sistema ser capaz de operar simultaneamente nessas áreas, os planejadores educacionais brasileiros desejarão indubitavelmente estabelecer prioridades e dar maior importância a alguns programas e menor a outros. A otimização da programação dependerá do preciso grau de importância atribuído pelos planejadores, no momento da fixação do sistema, a cada uma das áreas. Essa flexibilidade será mostrada a seguir, com exemplos do emprego possível do sistema em cada área educacional, mas as decisões finais dependem de uma análise mais cuidadosa do cenário educacional [28] .

Educação de Adultos. Há, no Brasil, duas áreas principais de necessidade na educação de adultos. A primeira delas prende-se ao analfabetismo que dificulta a contribuição, de cerca de metade da população adulta, para o desenvolvimento nacional. A segunda é a necessidade de adestramento de adultos nas técnicas e conhecimentos necessários aos seus trabalhos.

Quanto ao analfabetismo, há estudos anteriores sobre campanhas de alfabetização por meio de televisão. Na Itália, por exemplo, ficou demonstrado que um grande número de telespectadores pode aprender por meio de lições

televisadas, mas sô quando existem instrutores em condições de ajudar os estudantes em seus esforços para ler e escrever [45] . O México inaugurou recentemente uma série de 100 lições para alfabetização através da televisão; mas ainda não estão bem definidos os resultados dessa ampla aplicação [10]. O que começa, entretanto, a definir-se é que a alfabetização precisa estar relacionada com o trabalho e a vida de cada povo. Em outras palavras, não é suficiente simplesmente ensinar um número indiscriminado de pessoas a ler e a escrever sem, ao mesmo tempo, instruí-las no uso de suas novas técnicas. As pessoas desempregadas não irão aprender a ler e a escrever se não houver trabalho para aquêles que se esforçam em aprender. É necessário, pelo menos, que se faça uma distinção entre a alfabetização e os programas básicos de educação destinados aos trabalhadores urbanos e os que se destinam aos trabalhadores rurais. A alfabetização pode ser feita em paralelo com um curso que permita desenvolver certos conhecimentos técnicos. O conjunto seria destinado aos industriários, muitos dos quais participam de outros programas educacionais do governo destinados ao treinamento de trabalhadores na indústria e no comércio (SENAI e SENAC) [21] . Por outro lado, poderiam ser retransmitidos para as mulheres , em horas anteriores às dos programas para os homens programas de alfabetização, de higiene, ou outros com vistas ao desenvolvimento da comunidade. Assim, a programação poderia ser planejada para melhor distribuição entre os horários de trabalho.

Se fossem fornecidos aparelhos receptores de televisão para as escolas primária e secundária (105.007 em 1961) [57] , isso importaria aproximadamente em dar um aparelho para cada 40 analfabetos, estimando-se aproximadamente o número destes em 40.000.000. Obviamente a distribuição dos aparelhos não poderia ser correlacionada sômente com áreas de analfabetismo, mas po

deria ser efetuado um planejamento estratégico e realizadas campanhas nas áreas mais necessitadas. Grupos de pessoal de campo poderiam então concentrar-se numa área durante 6 meses ou um ano e recrutar um grupo de instrutores para o período noturno entre os letrados da área local. Talvez seja possível, e é muito desejável, designar soldados alfabetizados do exército para êstes trabalhos em áreas remotas onde fôsse difícil encontrar outros auxílios.

Educação formal:

(1) Primário. Parece evidente que ao formular os objetivos a serem atingidos em 1970 a Comissão para Planejamento na Educação tinha em mente a necessidade premente de prover a educação primária, se não exclusivamente, pelo menos em caráter prioritário. Isso se conclui do número de tópicos concernentes à melhoria do ensino primário e ao aumento do número de matrículas [21] . Como poderá o Projeto SACTI afudar na consecução d'êsses objetivos?

Há várias restrições a serem consideradas no ensino para escolas primárias via televisão. A vantagem de um sistema nacional de transmissão seria muito grande nas áreas comuns a tôdas as escolas primárias. Afortunadamente, a Lei de Diretrizes de 1961 estabelece um currículo básico, comum para tôdas as escolas primárias. Parece evidente que ê nessas áreas que as lições da TVE deveriam ser inicialmente preparadas, pois são elas menos afetadas pelas diferenças locais, sendo universal sua necessidade. Gramática portuguêsa, matemática, e ciências naturais afiguram-se como assuntos apropriados. Outros fatores influem na decisão relativa ao planejamento dos programas como sejam a importância do assunto como base para o ensino futuro e a preparação de professores na área. A matemática moderna, por exemplo, foi uma das áreas onde o projeto da TVE Colombiana concentrou uma parte dos seus esforços. U-

sando na televisão poucos professores bem treinados, material de apoio para o professor na classe de aula, que permitem a este por conta própria e aulas especiais para treinamento dos professores, o projeto foi capaz de inaugurar esta inovação num tempo muito inferior ao que seria necessário para treinar todo um novo grupo de professores [12] .

Merece ser posta em evidência uma última restrição: o tamanho das classes. A TVE não é uma substituta total para os professores e menos ainda para os bem treinados. A escola primária necessita grandemente de se ter um instrutor que não só manteria a disciplina durante os programas como também prepararia e acompanharia cada lição. Muitos professores Colombianos julgam que a TVE além de ajudar a melhorar seus métodos de ensino absorveu uma parte maior de seu tempo. Se a televisão se destina a ajudar o aluno e o professor, este não deve ser posto em dificuldades com os estudantes. Tanto a qualidade do ensino como o aprendizado podem certamente ser significativamente melhorados, mas um maior alistamento exige maior número de professores.

(2) Secundário . Já foi dito antes que as escolas secundárias constituem ponto de estrangulamento ou funil entre as escolas primárias e a universidade. No Brasil, o número dos que se graduam na escola primária é suficientemente baixo para que a pressão não seja tão grande como em outros países (p.e. Índia, Japão, etc. [37, 55]). O mais crítico para o Brasil, no momento, é que sejam tornadas disponíveis para todas as classes do povo, mais escolas secundárias, isto é, escolas públicas gratuitas [12] ou de baixo custo para o aluno.

A contribuição da TVE para a educação secundária poderia ser considerada em duas áreas: ela poderá melhorar a qualidade da instrução nas esco-

las vocacionais e normais, e prover a necessária especialização nos cursos de ciência e matemática para os estudantes do ginásio que passam para a Universidade. Verificou-se desde logo, que 25% dos estudantes secundários seguem uma escola técnica ou vocacional. Isto deveria indicar que aproximada - mente 50 a 60 mil graduados em nível secundário entram normalmente no trabalho ativo. Este número só será significativo se os estudantes estiverem recebendo um treinamento conveniente. Em relatório para a UNESCO em 1961, o Ministério da Educação deixou claro que um dos problemas principais com a educação secundária era a organização e o currículo da escola vocacional [57] . A fim de preparar os alunos para trabalhos importantes na indústria, nos ne - gócios, na agricultura, e no ensino primário, os professores de TVE poderiam dar aulas em muitos assuntos especializados que não são normalmente ministrados devido à falta de pessoal adequado. Como os estudantes secundários necessitam menor atenção individual, classes mais numerosas poderiam seguir as lições. Muitas dessas lições poderiam ser retransmitidas no período da tarde para os que tenham abandonado o sistema formal de educação.

Entre os grupos que se acham no ginásio há muitos estudantes que irão necessitar de cursos básicos de natureza científica e técnica que os encorajarão a seguir carreiras em áreas estratégicas como engenharia e ciências naturais. Um dos problemas enfrentados por muitas nações em desenvolvimento é o progresso da pesquisa científica em apoio ao crescimento industrial .

No Brasil essa falta tem sido ilustrada por estatísticas universitárias, mas deve ser lembrado que um estudante não pode entrar fácilmente numa carreira de ciência natural ou de engenharia se sua educação secundária o deixa sem preparo para isso. Melhorando nos cursos de ciência e matemática

por meio da TVE seria possível dar o impulso necessário ao desenvolvimento da pesquisa científica no Brasil.

(3) Universidade. As universidades poderiam beneficiar-se de duas maneiras com o sistema de TVE por satélite. Primeiro, compartilhando de um grupo de excelentes professores da televisão em importantes campos, o que be neficiaria tôdas as universidades do país. Se, por exemplo, a Universidade de São Paulo possui um físico eminente, suas aulas em "video-tape" poderiam ser assistidas numa pequena universidade no nordeste a qual de outra forma não poderia usufruir dêsse benefício.

Cursos televisionados poderiam assim constituir uma economia para uma universidade e essa economia poderia ser empregada no pagamento do seu pessoal sobrecarregado ou utilizada para comprar equipamento de laboratório e de livros e revistas para a biblioteca.

Um segundo resultado importante do uso do satélite seria a possibilidade de compartilhar dados entre grupos universitários de pesquisa. Esse intercâmbio poderia ser efetuado através dos canais de baixa potência e não seria limitado às universidades e centros brasileiros, atingindo também muitas comunidades científicas através do mundo. Uma demonstração dêsse potencial será em breve testada no Chile na abertura de sua estação terrestre para comunicações por satélites. Muitas universidades de lá farão pedidos de transmissão ao grande sistema de acesso de dados do Massachusetts Institute of Technology a muitos milhares de quilômetros de distância. Daí surge a ne cessidade futura de organizar outros "bancos de informações" que possuam co leções de tôda pesquisa relativa ao desenvolvimento econômico e social na A mérica Latina. Tal centro deveria ser de fácil acesso às universidades para

fins de análise secundária e de outras necessidades de pesquisa.

Em conclusão, os usos potenciais do sistema SACT são para o Brasil mais amplos do que os poucos que aqui foram apontados. Eles podem contribuir para os objetivos acima descritos. A capacidade que tem uma inovação como a TVE para acarretar mudanças no sistema educacional não pode ser facilmente prevista. Mas é certo que a introdução desse meio será uma ocasião para o estabelecimento de muitas idéias novas no que tange à educação. É esta função inovadora que pode ter a TVE no campo da organização e da educação que ainda são, de um modo geral, sistemas tradicionais no Brasil. As mudanças podem ser dirigidas pelos sábios planejamento e supervisão dos educadores brasileiros responsáveis pelas decisões relativas ao plano de ação para o sistema SACT.

2.2.5 Elaboração de Programas

Nesta seção serão considerados: (1) a escolha de um sistema de dois canais com finalidade educativa, com exemplos de programação; (2) o custo para a elaboração de programas, e (3) os programadores. Vários pontos desses problemas foram abordados em outras partes deste relatório mas aqui são feitas outras considerações tendo em vista as necessidades de produção.

2.2.5.1 Sistema de Dois ou de Seis Canais

No recente estudo da UNESCO, "New Educational Media in Action: Case Studies for Planners" [54], encontram-se estudos de vinte e um exemplos com

dados relativos a projetos de rádio e televisão educacional através do mundo. Há uma dúzia de projetos diferentes de TVE estudados nesses volumes. Dois deles usam seis canais de televisão (p.e., American Samoa e Haggerstown nos U.S.A.), um usa quatro mas terá seis em 1970 (IMPATI nos E.U.A.), enquanto que a maioria dos outros usa um só canal em suas irradiações. Surge aqui a pergunta: se um país está planejando um sistema de satélite para uma população de muitos milhões, não seria melhor começar com mais de dois canais, como sugere o presente plano? A resposta não é simples, mas há várias razões ponderáveis para a escolha de um sistema de dois canais.

Todos os três projetos em que são usados quatro ou mais canais ou estão sendo operados nos E.U.A. ou foram planejados e operados em grande parte por pessoal dos E.U.A. A introdução de uma inovação como a TVE num país com limitada experiência comercial acarreta um problema de organização importante. As duas tentativas da Colômbia para iniciar a TVE que precederam o sucesso conseguido na terceira tentativa mostra que mesmo um simples sistema como o de um canal exige grandes esforços no terreno da organização para que funcione corretamente.

Do ponto de vista tecnológico, o sistema dotado de seis canais seria praticável se outras restrições não sugerissem menor número. Como se espera que a vida do primeiro satélite seja de cinco anos, é razoável usar êste tempo como base para a introdução gradual da programação a ser difundida pela televisão, mediante experiência com vários tipos de programas para diversos níveis educacionais. Ao fim desse período já teria sido acumulada uma experiência considerável o que proporcionaria ao centro de elaboração os dados necessários a justificar o aumento do número de canais de dois para

quatro ou seis sem sobrecarregar excessivamente o sistema.

Outro fator a considerar é o sistema educacional presente ao qual seria adicionado a inovação da televisão educativa. Esses sistemas escolares têm geralmente organização adequada aos métodos modernos de ensino, pois são tradicionais no aspecto, e contam com pessoal de formação deficiente. As aulas televisionadas podem parecer uma ameaça às posições dos professores. A modificação súbita desse sistema para um modernizado envolve um risco que é proporcional ao atraso do sistema tradicional e à amplitude das modificações necessárias. Nenhum país com a superfície do Brasil poderia enfrentar maior modificação em seu sistema escolar. Por outro lado, Samoa, com seu sistema escolar completamente novo, correu esse risco mas todo o projeto só engloba umas poucas dúzias de escolas e cerca de 7.000 alunos. Nessa experiência quase de laboratório, é possível fazer-se observações cuidadosas e controlar os efeitos da mudança rápida. Em sistemas escolares como o do Brasil, seria impossível dirigir ou controlar uma inovação rápida e total.

Existem outras restrições quanto ao número de canais que são possíveis na primeira geração do satélite de TVE. Os cinco primeiros anos são também um período de inovação e experimentação tanto para os centros de elaboração de programas quanto para os sistemas escolares. Séries inteiras de programas necessitam ser estudadas e criadas a partir do nada. É necessário algum pessoal com certa experiência para começar, mas muito se aprenderá nos primeiros anos. Em tais circunstâncias, seria mais seguro conservar durante dois ou três anos o mesmo grupo de elaboração até que ele atinja seu ritmo normal de produção. Na Colômbia, que possui atualmente o maior projeto de TVE em operação num ~~um~~ país

em desenvolvimento, foram necessários quase três anos até que fosse possível substituir a maior parte dos programadores estrangeiros que deram início ao projeto em 1964. Antes que exista pessoal convenientemente treinado em número suficiente e com organização administrativa adequada, seria desperdício operar três ou quatro canais inúteis. Um esforço gradual em escala modesta teria muito maior oportunidade de sucesso, num país em desenvolvimento, do que um grande salto para frente pobremente organizado e deficiente.

Um sistema de dois canais na primeira fase do satélite de TVE atenderia a uma programação mais do que ampla para as necessidades do país. Já foi mencionado em outra parte deste relatório que não se espera que a televisão preencha todas as horas de aula dos sistemas escolares formais. Em muitos casos ela forneceria o material básico a ser usado no curso, o que representaria apenas uma fração do tempo de aula total dedicado ao assunto. As próprias aulas televisionadas no início não tomariam mais do que 5 a 10% do tempo total de aulas por semana. Examinando programas em operação destinados a televisionar aulas, é possível comparar o tempo consumido quando todas as aulas são televisionadas e quando são as matérias básicas. Em Samoa, aproximadamente 33% do horário escolar do estudante é gasto em aulas televisionadas, enquanto que na Colômbia somente cerca de 6% desse horário é preenchido com aulas televisionadas [12].

A fim de ilustrar qual a programação suscetível de ser transmitida por dois canais, foi projetado (ver Tabela 2-3 e 2-4) um esquema hipotético de programas. A simples inspeção desse esquema mostra o número de horas de transmissão disponíveis, caso os dois canais sejam usados em plena capacidade, num esquema de 16 horas diárias. Dada a capacidade do sistema (que pro

vãvelmente não preencherã o esquema completo de transmissão muito antes do terceiro ano), seria possível apresentar em sete dias 224 horas de programa educativo. Evidentemente isto se obtêm usando os dois canais quase ao máximo. É claro, porém, que no caso de Samoa os seis canais disponíveis são raramente usados. Lã os seis canais contavam em 1966 apenas com um fraco esquema de transmissão de cêrca de 88 horas. Compare-se isto com os dois canais hipotéticos com capacidade de 224 horas por semana, tendo em mente que tal comparação não considera o aumento de flexibilidade que os canais extras fornecem. Parece ainda razoável dotar com dois canais educativos o primeiro satélite, cuja capacidade poderá ser completamente explorada, em vez de empregar mais canais e ser compelido a tentar usã-los demais para justificar a despesa adicional.

2.2.5.2 Custos da Elaboração dos Programas

A segunda consideração refere-se aos custos de elaboração dos programas para o sistema proposto de TVE. A finalidade desta seção não é fazer uma análise exata dos custos de elaboração dos programas, e sim de apresentar alguns exemplos de custo de outros projetos já em operação, ao lado de fatores que afetam êsses custos.

TABELA 2-3

CANAL Nº 1 TVE ESQUEMA HIPOTÉTICO DE PROGRAMAÇÃO PARA O 3º ANO DE OPERAÇÃO

	Domingo	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado
6:00	Notícias e Meteorologia	Engenharia	Engenharia	Engenharia	Engenharia	Engenharia	
7:00	Arte e Arquitetura	Química e Física	Química e Física	Química e Física	Química e Física	Biologia e Física	Botânica e Física
8:00	Ação Legislativa e Geografia	Métodos de Ensino Eng. Elétrica	Algebra e Cálculo	Métodos de Ensino Eng. Elétrica	Algebra e Cálculo	Métodos de Ensino Eng. Elétrica	Objetivos e Uso de TVE
9:00	Oceanografia e Peixes e Vida Animal	História Métodos Quantitativos	Biologia Computação	História Métodos Quantitativos	Biologia Métodos Quantitativos	História Métodos Quantitativos	Biologia Ciência dos Computadores
10:00	Política Exterior Lógica	Geografia Economia	Física Economia	Civismo Economia	Física Economia	Estudos Sociais Economia	Física Economia
11:00	Ética História da Religião	Matemática Moderna	Matemática Moderna	Matemática Moderna	Matemática Moderna	Matemática Moderna	Agronomia Agricultura
12:00	Seminário sobre o Progresso	Métodos de Ensino para Escola Primária	Métodos de Ensino para Escola Primária	Métodos de Ensino para Escola Primária	Métodos de Ensino para Escola Primária	Organização Escolar	Sociologia Métodos de Pesquisa
13:00	Planejamento da População Desenvolvimento	Química Eng. Mecânica	Medicina	Química Eng. Mecânica	Medicina	Química Eng. Mecânica	Medicina
14:00	Lei e Sociedade Literatura	Agricultura Enfermagem	Ciência Natural Farmacologia	Botânica Psicologia	Ciência Especial Comunicações	Agricultura Animal Filosofia	História Ciência Política
15:00	Composições e Viagens	Comércio Matemática	Ensino Industrial Linguística	Ação Comunitária	Higiene	Esportes Matemática	Governo Matemática
16:00	Eventos	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Planejamento Urbano Política e Governo
17:00	Especiais	Matemática para Professores de Primário	Ciência Natural para Professores de Primário	História para Professores de Primário	Linguagem para Professores de Primário	Música para Professores de Primário	Desenvolvimento Econômico da Comunidade
18:00	Emissões Especiais de Política	Idioma Estrangeiro Iniciação e Avançado	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro Iniciação e Avançado	Idioma Estrangeiro Iniciação e Avançado	Idioma Estrangeiro Iniciação e Avançado	Saúde Pública
19:00	Música	Agricultura Educação	Ciência Natural Educação	Projetos Cívicos Educação	Nutrição Educação	Saúde e Família Planejamento	Desenvolvimento da Comunidade
20:00	Drama	Finanças Contabilidade	Pesquisa Operacional Planejamento Educacional	Finanças Contabilidade	Estatísticas Administração Pública	Finanças Eng. Industrial	Engenharia Industrial
21:00	Dança	Cálculo Comércio (Interno)	Filosofia Governo	História Comércio (Regional)	Cálculo	Apreciação da Arte	Matemática
22:00	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme

TABELA 2-4

CANAL Nº 2 TVE ESQUEMA HIPOTÉTICO DA PROGRAMAÇÃO PARA O 3º ANO DE OPERAÇÃO

6:00	Notícias e Meteorologia Início de Alfabetização de Adultos	Notícias e Meteorologia Saúde e Nutrição	Notícias e Meteorologia Início de Alfabetização de Adultos	Notícias e Meteorologia Construção e Encena- mentos	Notícias e Meteorologia Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Notícias e Meteorologia Alfabetização Avançada de Adultos	Notícias e Meteorologia Alfabetização Inicial de Adultos	Notícias e Meteorologia Ciudad de Crianças	Notícias e Meteorologia Desenvolvimento da Co- munidade
7:00	Alfabetização Inter- diária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Alfabetização Inter- mediária de Adultos	Tópicos em Filosofia para todos
8:00	Religiões	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Arte	Toda a Escola canta
9:00	Estória do Zoo Hora da Criança	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Matemática Ciência Natural	Arte	Vida Urbana
10:00	Drama Ligeiro Música Ligeira	Música	Matemática Música	Matemática Música	Matemática Música	Matemática Música	Matemática Música	Arte Música	Conservação
11:00	Cozinha e Nutrição Planejamento Familiar	Ciência Natural Linguagem	Ciência Natural Linguagem	Ciência Natural Linguagem	Ciência Natural Linguagem	Ciência Natural Linguagem	Ciência Natural Linguagem	Linguagem	Ciência Espacial
12:00	Economia Doméstica Música Ligeira	O Mundo das Mulheres Música Ligeira	Economia Doméstica Música Ligeira	Economia Doméstica Música Ligeira	Economia Doméstica Música Ligeira	Economia Doméstica Música Ligeira	Economia Doméstica Música Ligeira	O Mundo das Mulheres Música Ligeira	Eventos Especiais
13:00	Esportes Nacionais Fatos da Semana	História Saúde e Nutrição	História Saúde e Nutrição	História Saúde e Nutrição	História Saúde e Nutrição	História Saúde e Nutrição	História Saúde e Nutrição	Eventos Gerais	Conversas com Grandes Pessoas
14:00	Arte	Cultura	Cultura	Cultura	Cultura	Cultura	Cultura	Eventos Gerais	Os Instrumentos da Orquestra
15:00	Desenhos sobre Saúde	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Idioma Estrangeiro	Viagens por Terras Estrangeiras	A Capital do País Organização Voluntária
16:00	Eventos Especiais	Estórias e Canções do Folclore	Conhecendo a Biblioteca	Conhecendo a Biblioteca	Conhecendo a Biblioteca	Conhecendo a Biblioteca	Conhecendo a Biblioteca	Uma Viagem à Fazenda	Para onde caminha a Nação
17:00	Filmes Estrangeiros	O que as Crianças aprendem nas Escolas	Saúde na Comunidade	Saúde na Comunidade	Saúde na Comunidade	Saúde na Comunidade	Saúde na Comunidade	Estudos Sociais para Adultos	Notícias Internacionais e Nacionais
18:00	Notícias e Comentários	Notícias e Comentários Viagens pelo País	Notícias e Comentários Esporte	Notícias e Comentários Esporte	Notícias e Comentários Esporte	Notícias e Comentários Esporte	Notícias e Comentários Esporte	Notícias e Comentários Música e Dança Folclórica	Notícias e Comentários Viagens (Nacionais)
19:00	Treino de Negócios Pequenos	Drama Ligeiro	Côro de Crianças e Orquestra	Côro de Crianças e Orquestra	Côro de Crianças e Orquestra	Côro de Crianças e Orquestra	Côro de Crianças e Orquestra	Problemas Políticos Tempo de Comédia	Ajudas à Arte Industrial
20:00	Diversões para a Família	Peças e Estórias em um Ato	Música de Concerto Clássica e Moderna	Música de Concerto Clássica e Moderna	Música de Concerto Clássica e Moderna	Música de Concerto Clássica e Moderna	Música de Concerto Clássica e Moderna	Ballet Clássico	Filmes Nacionais
21:00	Alfabetização de Adultos Liderança	Alfabetização de Adultos Ação Comunitária	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Alfabetização de Adultos Arte Industrial	Geografia em nosso País
22:00	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme	Filme

O sistema de dois canais já descrito, com tempo de programação máximo superior a 200 horas por semana, é apenas hipotético e depende de muitos fatores que poderão fazer com que a programação mesmo no terceiro ano de operação, fique muito abaixo da capacidade máxima. Uma dessas restrições é o custo de elaboração desses programas. Para cada hora de transmissão, é necessário um mínimo de 3 a 5 horas para o tempo de trabalho no estúdio (isto se refere simplesmente a programas de aulas onde as professores da televisão fazem apenas uma conferência, sendo excluído o desenvolvimento do script).

Foram feitas pela UNESCO [54] várias estimativas do custo por hora de programa. Antes de fornecer as estimativas, convém lembrar que devido a muitos fatores complicados que entram na análise, a precisão delas sempre é insegura, e que os custos de produção estão restringidos pelo número de horas do programa a ser elaborado sem levar em conta o número de telespectadores. Frequentemente os custos são dados em cifras "per capita" (O projeto da Colômbia custa 5,3 centavos de dólar por estudante-hora; Samoa, 59 centavos) [55], cifras estas que variam bastante devido o número de telespectadores. Cabe ainda ao governo fazer estimativas de despesas de operação com base no custo total, de maneira a ter uma idéia das despesas anuais de operação.

Há entre as instalações de TVE, uma grande variação no custo por hora de uma nova programação. Esse custo é de US\$545 na Samoa; de US\$814 na Colômbia; de US\$160 em Haggerstown; e de US\$ 2.113 no IMPATI [55]. O curso por correspondência pela televisão NHK, no Japão, custa cerca de US\$1.000 por hora [54]. Para ter-se uma idéia de quais os fatores a serem considerados nos custos anuais de produção, a Tabela 2-5 mostra o orçamento de 1964 para o programa japonês.

É de notar-se que os custos de produção são geralmente independentes dos custos de transmissão e dos custos de recepção. Essa transmissão é a real, isto é, a transmissão dos programas após sua gravação em "videotapes". Os custos de recepção geralmente incluem tanto os dos aparelhos e de sua manutenção como os do programa de implementação e do sistema de realimentação.

Tabela 2-5

CUSTOS DE TRANSMISSÃO E PRODUÇÃO PARA O CURSO
SECUNDÁRIO POR CORRESPONDÊNCIA DA NHK (JAPÃO)

1964

Tipo de despesa	Custo US\$
Custos para produzir as conferências por correspondência	
Salários de produção	\$ 95,000
Montagem dos comitês para a produção dos programas	15,000
Despesas diretas de produção	
Cenários e composições	8,000
Costumes e "setting"	47,000
Atores	43,000
Filme virgem	16,000
Filmagem e gravação	47,000
Outros	17,000
Total	\$288,000
Custo de transmissão das conferências	598,000
Total	\$886,000

Outro exemplo: A Colômbia tinha um custo anual de programação estimado em US\$122,000 em 1966 [48] . Tal estimativa corresponde ao início do terceiro ano de programação quando uma boa parte desta já tinha sido completada

para as classes mais elementares e os programadores já haviam adquirido experiência. A maior parte dos US\$122.000 foi gasta nos salários do pessoal (US\$105.000 ou aproximadamente 86 por cento do custo total de produção). Em muitos países, desenvolvidos ou em desenvolvimento, a maior parte dos orçamentos de produção é gasta nos salários. A qualidade da programação afeta diretamente o grau de melhoria educacional a ser esperado das aulas televisadas; isto por sua vez depende da perícia dos programadores, na utilização dos textos escritos para os professores da televisão. O fato de muitos países precisarem, no início, contratar grande parte deste grupo de programadores de TVE, aumentará a despesa. Estas considerações levam à terceira área de programação a ser revista, ou seja a do pessoal necessário para a operação dos centros de programação.

2.2.5.3 Programadores

Ao montar no país um amplo sistema de TVE por satélite de comunicações, é essencial que o conteúdo do programa seja cuidadosamente selecionado e apresentado por um pessoal competente. O sucesso de um programa depende da idéia inicial, do "script" efetivo, tendo em vista os telespectadores, o material audio-visual, o bom trabalho de câmera, e uma direção adequada. Contrastando com um professor em sala de aula, o professor da TVE não pode arriscar-se a um engano, pois um engano no estúdio será repetido milhares de vezes através do país, em todos os lugares onde existam telespectadores.

O ensino pela televisão deve ser, sob vários aspectos, uma espécie de arte, em consonância com as restrições impostas pelo meio em que está sen

do usado.

O Brasil é um grande país onde os talentos e recursos são muito diversificados. No entanto, apesar da ausência de problemas de idioma, poderia ser mais prático e eficiente para o governo organizar centros de elaboração de programas em várias áreas urbanas e regionais e construir uma estação central de transmissão ou delegar isto a uma instituição como a Fundação Anchieta em São Paulo. Esses centros deveriam coordenar os programas com várias agências de educação, como o Ministério da Educação e as secretarias regionais, e também estabelecer os vários programas a serem produzidos nas regiões. Essa diversificação irá reduzir a carga da unidade central de elaboração de programas e ajudar a especialização regional. Outra vantagem será a de aumentar a participação da nação acarretando um elemento de competição. Entretanto, o custo de centros separados de produção não foi estimado nos custos totais. Se essa diversificação parecer possível, os custos terão de ser estimados.

O governo idealizará seu método de controle estatal sobre a autoridade educacional transmissora e sua relação com os educadores e grupos educacionais. Excluímos, assim, o custo de auxiliares da mais alta autoridade governamental, e de coordenadores no campo da educação restando apenas o pessoal cujas funções são básicas à operação de uma estação educacional de televisão.

Além do mais, o número e o tipo de pessoal variará de acordo com as funções e com a quantidade de operações da estação de TVE. Em algumas situações, os professores poderão ser capazes de escrever seus próprios "scripts" com uma pequena ajuda dos produtores do programa, enquanto que em outras tal

vez tenham de ser empregados escritores profissionais de "script". A organização básica de uma estação de TVE consistirá de:

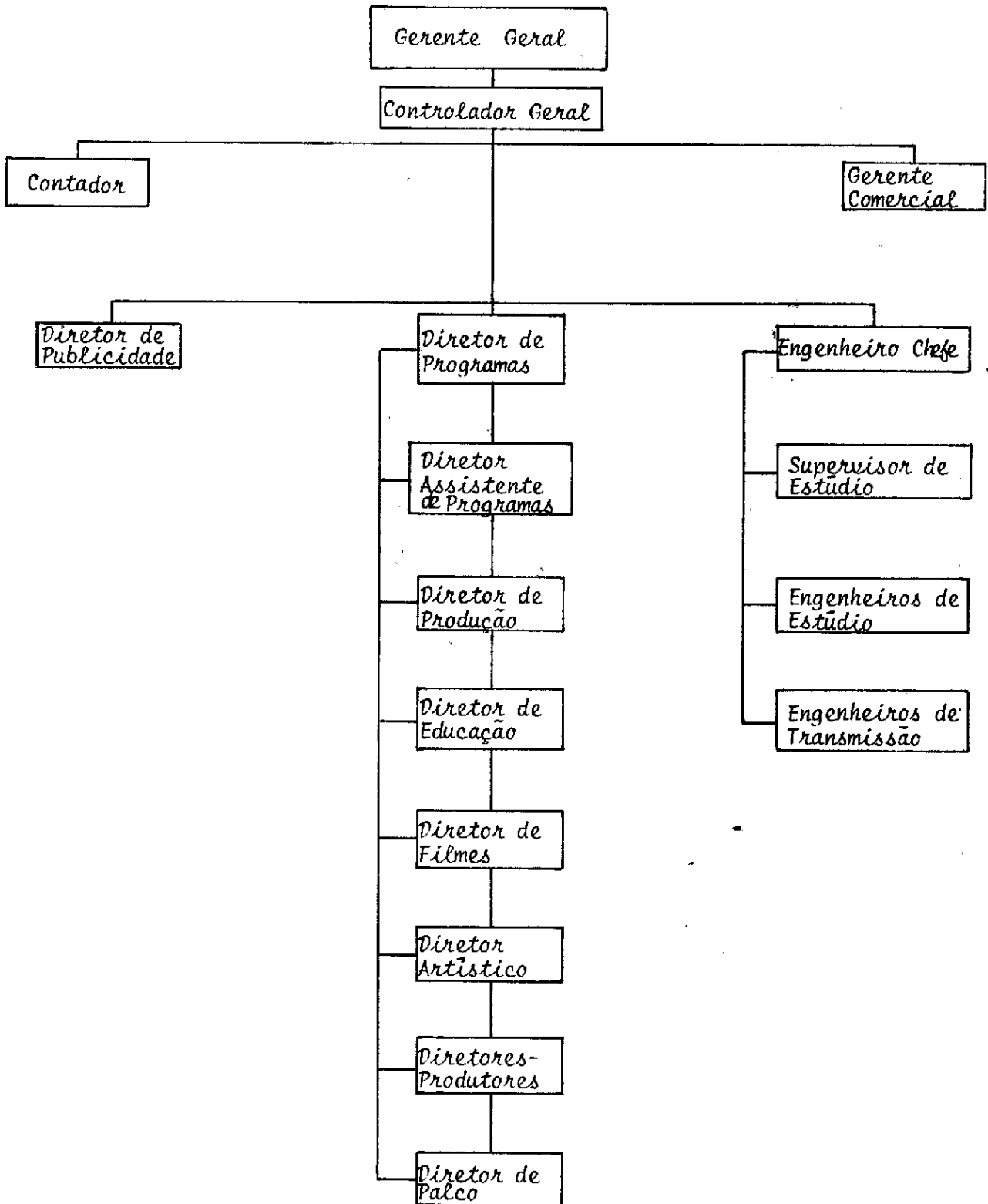
1. Administração
2. Programação
3. Promoção e Publicidade
4. Engenharia

A estação de televisão é considerada como possuindo um estúdio bem equipado (e outro auxiliar de continuidade) capaz de ser usado para shows; uma unidade móvel equipada com câmeras "vidicon", e uma unidade de filmar. As funções do pessoal estão detalhadas na Tabela 2-6.

O gerente geral dirigirá a estação e a sua política e contratará o pessoal chave. Um controlador geral, auxiliado por um contador e um gerente comercial, coordenará e controlará o orçamento, o financiamento, a transmissão e o registro de horários. O diretor de programas administrará as atividades de programação e produção e coordenará a movimentação dos filmes e a procura de programas. Ele será auxiliado por um diretor assistente de programas, que trabalhará com os produtores e promoverá a ligação entre o engenheiro chefe e os diretores-produtores nos procedimentos e requerimentos da produção; um diretor de produção, que coordenará as atividades da produção e inventariará os talentos, os anunciantes, o pessoal (do palco), e facilidades remotas de transmissão; um diretor de educação, que coordenará o trabalho dos professores, estações, grupos de educação e escolas, e será responsável pela volta de informações ao diretor de programas e aos diretores-produtores; um diretor de filmes, encarregado da unidade de filmes, da equipe de câmeras, e da produção e da preparação dos filmes; um diretor artístico, que dirigirá o pes

Tabela 2-6

ORGANOGRAMA DA ESTAÇÃO



soal no palco sob a supervisão do diretor da sala de controle; um conjunto de anunciadores; um diretor de publicidade, que irá procurar apoio público para a estação de transmissão educativa; um engenheiro chefe e seu assistente; supervisores de estúdio e seus engenheiros de estúdio, que trabalharão com a equipe de câmeras consistindo de um diretor técnico, do engenheiro de áudio e vídeo, de um operador de som e do pessoal das câmeras; engenheiros mestres de Controle, que irão controlar o quadro de distribuição, operar a cadeia de filmes e a máquina de "vídeo-tape"; um supervisor de transmissão, que irá monitorar os programas e operar as facilidades de transmissão; e vários engenheiros de manutenção técnica [62] .

Tabela 2-7
CUSTO DE PESSOAL

Departamento	Número	Milhares de dólares
Administração		
Gerente Geral	1	\$ 14
Controlador Geral	1	12
Contador	1	10
Gerente Comercial	1	8
Diretor de Programas	1	11
Diretor Assistente de Programas	1	9
Diretor de Educação	1	10
Diretor de Filmes	1	9
Diretor Artístico	1	8
Diretor-Produtor	1	8
Diretor de Palco	3	24
Locutores	2	15
Diretor de Publicidade	1	8
Engenheiro Chefe	2	20
Engenheiro de Estúdio	5	40
Supervisor de Estúdio	1	9
Engenheiro de Transmissor	2	16
Secretários, funcionários e assistentes	9	36
Total	36	\$276

Sugere-se que ao lado de um programa intensivo de "Treinamento dentro da Indústria", no Brasil, parte do pessoal de engenharia, de programação-chave e de direção, seja mandado aos Estados Unidos, ao Canadá ou à Europa para um treinamento adicional nessas técnicas. Os programas poderão ser variados para seguir certos tipos de transmissão, para treinamento a curto ou a longo prazo. O custo do treinamento técnico ou de programação não serão muito diferentes.

2.2.6 Análise de Custo para o Sistema Educativo

2.2.6.1 Introdução

O sistema educacional que projetamos só é válido para uma nação em desenvolvimento se ela tiver recursos para investir no sistema. O propósito da análise do custo do sistema de TVE é o de apresentar um modelo geral para a estimativa do custo de tal sistema, e o de estabelecer uma estimativa para o Brasil.

2.2.6.2 Aproximação dos Custos

Qualquer estimativa de custos é simplesmente uma conjectura mais ou menos bem informada. Como um sistema impulsiona o estado da tecnologia presente, podem surgir problemas imprevisíveis de desenvolvimento, e dificuldades na integração e na operação de sub-sistemas complexos [58]. Imprecisões nas relações de custo estimado e as incertezas na configuração do

sistema contribuem para dificultar a estimativa. Este sistema visto à luz de suas proporções energéticas, da tecnologia avançada requerida, e das incertezas de implantação não está isento destas dificuldades. A dificuldade em analisar o custo de um sistema com tecnologia avançada é bem demonstrada pelo fator de desvio do custo (relação do custo final para a estimativa inicial) [2;3].

As maiores imprecisões nas estimativas de custo do sistema são devidas à omissões de alguns dos elementos componentes. Para que sejam incluídos todos os componentes do sistema de TVE, e para assegurar uniformidade na análise de custos de configurações de sistemas alternativos, desenvolvemos um modelo de custo para este estudo. O modelo define o sistema de TVE por satélite incluindo todos os custos que pudessem ser adicionados a um sistema de educação convencional existente. Assim, não foram incluídos os custos de itens como salários dos professores e edifícios escolares. Os custos e rendas do sistema de comunicações usando o canal de telecomunicações do satélite são tratados na seção 2.3. Todos os custos são dados em dólares para evitar maiores correções monetárias.

2.2.6.3 Descrição do Modelo

Os custos do sistema estão divididos em três fases principais: pesquisa e desenvolvimento, investimento inicial e operações anuais. Estas fases são depois subdivididas em subfases nas quais os vários componentes do sistema entrarão com os custos. Uma versão abreviada do modelo é mostrada na Tabela 2-8, e a Tabela 2-9 dá a divisão completa.

Custos de pesquisa e desenvolvimento são relacionados aos principais conjuntos eletromecânicos do sistema, o satélite sendo o componente de maior desenvolvimento. O custo do investimento inicial é o capital necessário para estabelecer o sistema. O custo anual de operações é calculado numa base média após ter sido o sistema completamente estabelecido e atingido a estabilidade, isto é, o número requerido de substituições do satélite e dos receptores no solo pode ser calculado por um número médio por ano.

O modelo tem em vista determinar o custo total do sistema, desprezando alguns custos que poderão ser absorvidos fora do país através de ajuda estrangeira ou de aperfeiçoamentos na tecnologia, a qual poderia reduzir os custos de desenvolvimento.

Tabela 2-8

	Fases do Programa			
	Pesquisa e desenvolvimento	Investimento Inicial	Operações Anuais	Programa Total
<u>Sistema Total</u>				
Sistema de Lançamento				
Satélite				
Receptor Direto				
Transmissor				
Estação Retransmissora				
Receptor Convencional				
Miscelânea				

COMPONENTES DO SISTEMA

Tabela 2-9
DIVISÃO COMPLETA DO MODELO DE CUSTOS

Fases do Programa	
Pesquisa, Desenvolvimento, Teste e Avaliação Projeto do Sistema Desenvolvimento do Sistema Teste e Avaliação Investimento Inicial Pré-produção Produção e Procura Ativação da Área de Teste	Operações Anuais Reabastecimento Manutenção Pagamentos
Componentes do Sistema	
Sistema de Lançamento Veículo Carga Útil Satélite Estrutura Propulsão Contrôle de Atitude Potência Comunicações Antena Telemetria e Comando Integração Elétrica Montagem Final, Instalações, Testes Receptor Direto Antena Receptor de TV Conversor de Microondas Potência Polarização	Transmissor Antena Transmissor Equipamentos Pessoal Estação de Retransmissão Antena e Torre Transmissor Equipamentos Receptor Convencional Receptor de TV Miscelânea Transporte Gerência do Sistema Materiais Educacionais Eventualidades

2.2.6.4 Custos dos Componentes do Sistema de Lançamentos

O veículo escolhido para o lançamento do satélite seria da classe do Atlas-Agena. Tendo em vista que o sistema padrão de lançamento de veículos foi desenvolvido a ponto de se ter transformado num item sem importância, a pesquisa relacionada ao desenvolvimento do veículo seria mínima. Mesmo assim foram reservados \$300.000 para projetos de modificações da cápsula.

Tomando como base o custo atual de \$7,5 milhões o custo do Atlas-Agena em 1970 seria de cerca de \$6,5 milhões e na época de lançamento menor ainda. A despesa relativa à operação de lançamento foi estimada em \$700.000 dos quais \$200.000 são destinados aos acessórios iniciais e \$500.000 ao restante. A probabilidade de sucesso do lançamento (PSL) do Atlas-Agena é de 0,95, sendo previsto um custo de lançamento de $(\$6,5 + \$0,7)/0,95 = \$7,6$ milhões.

A estimativa da frequência com que devem ser feitos novos lançamentos pode ser feita admitindo-se que a vida do satélite é uma função exponencial negativa da forma

$$P = e^{-T/TMAF}$$

onde P é a probabilidade que tem o satélite de sobreviver durante um tempo T sendo TMAF o tempo que precede, em média, a uma falha. Daí se deduz a probabilidade de 36,8% que tem o satélite de permanecer útil durante o seu tempo de vida médio, antes que ocorra uma falha. De acordo com esta hipótese o número esperado de lançamentos necessários por ano é dado por

$$N = \frac{1}{(PSL)(TMAF) \ln [1 + (N_L/N_R)]}$$

onde

PSL = probabilidade de sucesso do lançamento

TMAF = tempo de vida médio do satélite antes das falhas

NR = número de satélites necessários em órbita

NL = número de satélites por lançamento

Uma vez estabelecido o valor de TMAF = 5 anos, teremos para nosso sistema $N = 0,30$ lançamentos por ano. O custo anual de lançamento de veículos é pois igual a 0.3 vezes a soma dos custos do veículo mais a operação de lançamento.

Satélite. A estimativa para pesquisa e desenvolvimento do satélite é baseada no esforço atualmente necessário ao aperfeiçoamento da tecnologia proposta. O cálculo dessa estimativa baseia-se no número de homens-hora em engenheiros e técnicos necessários e no equipamento pesado consumido em desenvolvimento, teste e avaliação. Adotam-se aqui como fatores \$50.000 por engenheiro-ano, \$20.000 por técnico-ano (valor internacional), e cinco satélites equivalentes consumidos em material. A tabela 2-10 apresenta o custo aproximado para pesquisa e desenvolvimento do satélite, sendo feita uma estimativa \$63,3 milhões. Este número está bem de acordo com um custo de desenvolvimento de \$62,5 para o Ranger [16] (um satélite de 320 kg), e uma estimativa de \$70 milhões para a RCA e a GE construir um satélite de 5 kw para transmissão direta.

O sistema do satélite, deve contar de início com um satélite e um sobressalente. A seguinte estimativa dos custos para os sistemas por satélite é baseada em dados históricos:

Estrutura: \$ 7.200/kg vezes o peso do estrutura

Propulsão:	\$ 4.500/kg	vêzes o peso do sistema de propulsão sem o propelente
Contrôle de atitude:	\$ 5.500/kg	vêzes o peso do sistema de controle de atitude
Potência:	\$ 600/W	vêzes a potência primitiva
Comunicações:	\$ 600.000/	canal de TV vêzes o número de canais de TV (baseado em \$1000/canal de voz; 600 canais de voz= 1 canal de TV)
Antena:	\$ 10 ***	vêzes (diâmetro equivalente da antena) ^{2,5}
Telemetria e comando:	\$ 20.000/kg	vêzes o peso do sistema de telemetria
Integração elétrica:	5%	(potência mais comunicações mais telemetria e comando)
Conjunto final/teste:	5%	(soma de todos os elementos acima)

Tabela 2-10

CUSTO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DO SATÉLITE

A	Milhões de Dólares
Projeto do Sistema \$50.000/engenheiro-ano vêzes 150 engenheiros-ano	\$ 7,5
Desenvolvimento do Sistema \$50.000/engenheiro-ano vêzes 250 engenheiros-ano mais \$20.000/técnico-ano vêzes 100 técnicos-ano mais 2 satélites equivalentes.	29,8
Teste e Avaliação \$50.000/engenheiro-ano vêzes 50 engenheiros-ano mais \$20.000/técnico-ano mais 3 satélites	26,0
Total	\$63,3

A estimativa de custo de produção do satélite é de \$8,1 milhões como mostra a Tabela 2-11.

O custo de operação anual do satélite é baseado no número médio de lançamentos por ano vezes o custo unitário do satélite. O custo da telemetria de terra para controle do satélite e da estação de ajuste está incluído no custo da estação transmissora..

Receptor Direto. O método sugerido para calcular a estimativa da pesquisa e do desenvolvimento para o receptor, mostrada na Tabela 2-12, é o mesmo que o relativo ao satélite. Admitiu-se que o consumo do equipamento pesado é equivalente ao das 30 primeiras unidades da produção de receptores. Como a estimativa do sistema a receptor direto é baseada em 100.000 a 1.000.000 de unidades, foi admitida uma curva de aprendizagem média, 90 por cento cumulativa (para retroceder) ao primeiro custo (mais ou menos cinco vezes o custo médio cumulativo do centésimo milésimo). A pesquisa e o desenvolvimento relativos aos receptores de transmissão direta são estimados em \$1,1 milhões.

Foi muito difícil de estimar o custo de produção dos receptores por ser o projeto muito avançado e em virtude da grande produção envolvida. O alto custo atual dos componentes, relativamente novos, usados nos projetos, provãvelmente cairã nos próximos anos tendo em vista a estimativa baseada nesta suposição. A tabela 2-13 fornece a estimativa dos custos de produção dos compo-
nentes completamente montados, testados e embalados dos receptores diretos. Foi previsto um adicional de 1 por cento no custo da produção inicial (exceto para o conversor, que é 0,5 por cento). Segue-se uma discussão destas estimativas de custo.

Tabela 2-11
CUSTO DE PRODUÇÃO DO SATÉLITE

	Millhões de Dólares
Estrutura \$7.200/ka vezes 45 ka	\$1,6
Propulsão \$4.500/ka vezes 18 ka	0,4
Controle de Atitude \$5.500/ka vezes 45 ka	1,2
Potência \$600/m vezes 2,5 kw	1,5
Comunicações \$600.000/canal de TV vezes 3 canais	1,8
Antena \$10 (5') 2,5	0,6
Telemetria e Comando \$20.000/ka vezes 10 ka	0,5
Integração Elétrica 5% (Potência mais comunicações mais telemetria e comando)	0,2
Conjunto Final 5% da soma de todos os elementos acima	0,3
Total	\$8,1

Tabela 2-12
PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DOS RECEPTORES DIRETOS

	Millhões de Dólares
Projeto do Sistema \$50.000/engenheiro-ano vezes 6 engenheiros-ano	\$0,3
Desenvolvimento do Sistema \$50.000/engenheiro-ano vezes 6 engenheiros-ano mais \$20.000/técnico-ano vezes 8 técnicos-ano mais 15 re- ceptores unitários iniciais equivalentes	0,5
Teste e Avaliação \$50.000/engenheiro-ano vezes 2 engenheiros-ano mais \$20.000/técnico-ano vezes 8 técnicos-ano mais 15 re- ceptores unitários iniciais equivalentes	0,3
Total	\$1,1

Tabela 2-13
CUSTO DE PRODUÇÃO DOS RECEPTORES DIRETOS
(Quantidade de 100.000 a 1.000.000)

Antena Parabólica Estampada de 1,80m	\$ 35,00
Receptor de TV (21", transistorizado, preto e branco)	85,00
Conversor de Micro-ondas	158,00
Custo total do receptor direto não instalado e sem fonte de potência (supõe-se eletrificação)	\$278,00
Potência	50,00
Custo total do receptor direto não instalado e com fonte de potência	\$328,00

O propósito básico da antena é o de um parabolóide de 1,80m, produzido por processo de estamparia com \$35. Um parabolóide de 2,40m pode ser necessário nas áreas limites do Brasil. Um parabolóide de 2,40m custaria pelo menos o dobro do de 1,80m. Na estimativa de custo supõe-se o uso do parabolóide de 1,80m.

O custo de \$85 para um receptor preto e branco transistorizado é baseado em discussões com firmas eletrônicas nos EE.UU.. Quanto ao receptor de TV foi ele imaginado bastante forte, à prova de umidade e suficientemente grande para ser visto confortavelmente por trinta estudantes (cinescópio de 21" pelo menos).

O conversor de micro-ondas é a parte mais dispendiosa do sistema receptor direto. Para estimar o custo foi consultada a Hewlett-Packard Associates sobre a redução esperada nos próximos cinco anos dos componentes de micro-ondas. Supusemos então ser o custo dos componentes igual a 25 por cento do custo total de produção, o que dá um custo de \$158 para o conversor, como mostramos na Tabela 2-14. O projeto do sistema receptor direto permite conectar vários conjuntos de TV a uma antena e a um mesmo conversor. Neste estudo foi imaginado um receptor por antena e conversor, mas se tal idéia não for adotada haveria uma redução do custo médio por receptor.

Custos básicos (modificações para cada lugar tal como uma cerca em volta da antena, equipamento para exibição de TV, sombras sobre janelas) são estimados em \$25 e o custo médio de instalação local (transporte e montagem) prevê um adicional de \$25 por conjunto.

Tabela 2-14

CUSTO DO CONVERSOR DE MICRO-ONDAS

		Custo de Produção
Misturador		
Tubo	\$ 2,50	
Diodos	2,50	
Conectores	1,20	
Total	\$ 6,20 x 4	\$ 24,80
Oscilador Local		
Diodo multiplicador de frequência	\$ 5,00	
Circuitos	5,00	
Total	\$10,00 x 4	\$ 40,00
Amplificador de FI		
Amplificadores	\$15,00	
Conectores	1,20	
Circuitos	1,00	
Total	\$17,20 x 4	\$ 68,80
Demodulador		
Conectores e cabo	\$ 4,00	
Misturador e Oscilador Local	2,00	
Total	\$ 6,00 x 4	\$ 24,00
Total (arredondado)		\$158,00

Os custos de reposição para os receptores diretos são baseados numa suposta vida de dez anos, sendo a manutenção anual calculada em 10 por cento (\$29 - \$34) do custo de produção.

Transmissor. O transmissor inclui a antena (cêrca de 7,6m de diâmetro) para a ligação terra-satélite, equipamento de transmissão, dois estúdios para produção de programas e o equipamento de telemetria para contrôlê do satélite. Um milhão de dólares foi estimado para pesquisa e desenvolvimento do transmissor; \$500.000 para obtenção da antena; \$1 milhão para o equipamento

de transmissão; \$1,6 milhões para facilidades, incluindo a estação básica mais os dois estúdios. Os custos de manutenção anual são estimados em 10 por cento do custo de obtenção e os custos de pessoal (engenheiros, técnicos, programadores) são calculados em \$333,000 por estúdio ou seja um total de \$666,000 por ano [1]. Isso corresponde a um custo de operação anual de \$976,000. Como termo de comparação, serve de exemplo a KOER, uma estação de televisão educacional de São Francisco, cujo custo de operação anual é de cerca de \$1,5 milhões. Em breve poderemos usar os dados da TV Educativa da Fundação Anchieta em São Paulo.

Estação Retransmissora. A questão de transmitir diretamente ou retransmitir é baseada no custo ponderado (veja a Seção 2.2.6.6). Nas grandes cidades com alta densidade populacional o custo ponderado favorece a retransmissão. A estimativa para pesquisa e desenvolvimento da estação retransmissora é de \$250,000, e o custo de sua instalação estaria por volta de \$200,000, devendo ainda ser adicionado 10 por cento para operações anuais.

Receptor Convencional. O custo de pesquisa e desenvolvimento do receptor convencional é absorvido no desenvolvimento do receptor direto e a obtenção custaria o mesmo (\$85). Estima-se \$25 para a instalação mais \$20 para ligação no local. Admite-se a existência de eletrificação nessas áreas de alta densidade de população o que permite dispensar um sistema separado de potência. A vida do aparelho é a mesma do receptor direto (10 anos) sendo permitida uma manutenção anual de 10 por cento.

Diversos. Tendo em vista a atual capacidade de produção admitiu-se que o Brasil fabricaria sem dificuldades seus próprios receptores. Será necessário enviar, cerca de uma vez por mês, material de instrução para o uso do

professor, em cada receptor. A despesa com isso será de \$0,16 por receptor por mês, isto é, aproximadamente \$2 por receptor por ano. O plano de administração para operação e integração do sistema total foi estimado em \$500.000 por ano. Finalmente, é incluída a turma de campo que proporcionará treinamento e estímulo aos professores, e receberá destes os informes de que necessitam os produtores dos programas de TV (e avaliação do projeto). As necessidades são proporcionais ao equipamento de terra instalado; e segundo o modelo apresentado, 10 por cento dos custos do equipamento de terra produzem custos da turma de campo comparáveis aos custos do projeto da TVE da Colômbia.

2.2.6.5 Estimativas de Custo do Sistema

O tempo requerido para instalar os receptores depende da taxa de produção e das facilidades disponíveis para instalação no campo. Neste trabalho, foi imaginado que num período de dez anos os aparelhos seriam instalados com uma mesma taxa conforme mostra a Fase I da Fig. 2-2. Como os aparelhos têm uma vida de dez anos muito poucos aparelhos necessitariam ser substituídos nos primeiros dez anos de operação. Como o custo de substituição do receptor é bastante crítico, a despesa apresentada com o sistema é relativo à média anual depois da instalação completa (Fase II da operação). Supõe-se ainda que os custos iniciais com pesquisa, desenvolvimento e capital já se acham amortizados. Veja-se na Seção 2.5 a discussão do custo dos primeiros dez anos de operação e dos problemas de financiamento inicial.

O sistema de TVE para o Brasil foi calculado tomando por base as hipóteses apresentadas na descrição dos modelos sugeridos. O número de recep

tores foi escolhido para alcançar em 1980 todos os alunos das escolas primárias e 20 por cento dos alunos das escolas secundárias. A tabela 2-15 apresenta o custo médio anual do sistema, o custo por estudante por ano, e os custos anuais como porcentagem do orçamento educacional do país. Tomando por base 120 estudantes por receptor, é muito razoável um custo de aproximadamente \$0,75 por estudante por ano, se levarmos em conta os possíveis benefícios que o sistema poderia oferecer.

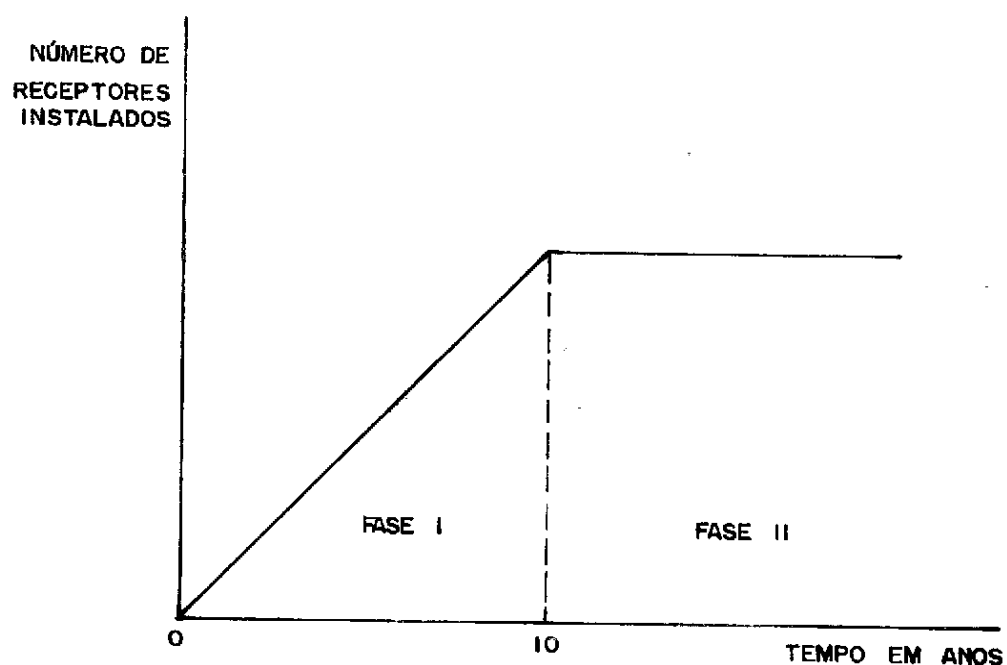


Fig. 2-2 TAXA DE INSTALAÇÃO DO SISTEMA

As tabelas 2-16a, 2-16b e 2-16c mostram detalhadamente o custo.

Foi efetuada uma análise para determinar o custo anual em função do número de receptores no sistema e do custo de produção do receptor. Os

resultados são mostrados na Fig. 2-3 .

2.2.6.6 Recepção Direta ou por Retransmissão

A escolha entre o uso de receptores de canais diretos do satélite ou através de retransmissores é determinada pelo mínimo de telespectadores que cada retransmissor atinge. Em outras palavras, para áreas acima de uma certa população, torna-se economicamente mais aconselhável usar um retransmissor do que receber em cada aparelho o sistema diretamente do satélite. Da grandeza da população, por sua vez, dependem os custos relativos da estação

Tabela 2-15

CUSTO DO SISTEMA SACT

Número de estudantes no sistema (milhões)	24,3
Número de receptores de TVE (milhares)	200
Número de estudantes por receptor	120
Custo médio anual (milhões de dólares)	\$19
Custo por estudante por ano	\$0,78
Custo médio anual como percentagem do orçamento educacional do Brasil	5%

retransmissora e da antena de recepção direta e conversor. O custo do transmissor é calculado em \$200,000 e o custo da antena de recepção direta como o conversor em \$300, dando um "break-even point" de cerca de 620 aparelhos por área de retransmissão. Portanto, para qualquer área que necessite de mais de 620 aparelhos, é preferível usar o retransmissor ao invés de receber o sinal diretamente do satélite. Como será visto, será bastante grande o tamanho da

Tabela 2-16a

PARÂMETROS DE ENTRADA

1 ENG-ANO (POS ESTRANG)	0.050
1 TEC-ANO (POS ESTRANG)	0.020
1 ENG-ANO	0.040
1 TEC-ANO	0.015
VIDA MED SAT	5.000
NO. SATS EM ÓRBITA	1.000
NO. CANAIS DE TV/SAT	3.000
NO. CANAIS DE VOZ/SAT	1800.000*
PÊSO DA ESTRUTURA DO SAT	100.000
POTÊNCIA PRIMÁRIA DO SAT	2500.000
DIÂMETRO DA ANTENA DO SAT	5.000
PÊSO SIST PROP SAT	40.000
PÊSO SIST A/C SAT	100.000
NO. RECEP DIRETOS	152000.000
DIÂMETRO DA ANTENA DE TERRA	6.000
POTÊNCIA EST DE TERRA	30.000
FATOR AUC 95% LC	0.330
CUSTO VEIC LANÇAMENTO	6.500
PROB SUCESSO LANÇAMENTO	0.950
NO. LANÇAMENTOS/ANO	0.304
NO. SATS/LANÇAMENTO	1.000
CUSTO DO LANÇAMENTO	0.700
ENG-ANO PROJ SIST SAT	150.000
ENG-ANO DES SIST SAT	250.000
ENG-ANO TESTE SAT	50.000
TEC-ANO DES SIST SAT	100.000
TEC-ANO TESTE SAT	50.000
ENG-ANO PROJ SIST TERRA	6.000
ENG-ANO DES SIST TERRA	6.000
ENG-ANO TESTE TERRA	2.000
TEC-ANO DES SIST TERRA	8.000
TEC-ANO TESTE TERRA	8.000
ANOS DE OPERAÇÃO	10.000
TEMP DE RUÍDO TERRA	1000.000
VIDA DO RECEP DIRETO	10.000
NO. RECEP CONV	48000.000
VIDA DO RECEP CONV	10.000
NO. EST TRANS	1.000
NO. EST RETRANS	12.000

* Supondo-se 600 canais de voz por canal de TV. É possível maior capacidade de canais de voz com equipamento de terra mais sofisticado que utilize a capacidade total do espectro do satélite.

Tabela 2-16b

MODELO DE CUSTO DO SISTEMA DE TVE
(Milhões de Dólares)

1-1	PROJETO DO SISTEMA	PESQUISA, DESENVOLVIMENTO, TESTE E AVALIAÇÃO			R e D TOTAL	PRÉ-PRODUÇÃO	INVESTIMENTO INICIAL		
		DESENVOLV. DO SISTEMA	TESTE E AVALIAÇÃO				PRODUÇÃO E OBTENÇÃO	ATIVIDADE LOCAL	INVEST. TOTAL
	SISTEMA TOTAL	8.150	30.911	26.920	65.982	0.819	80.578	4.760	86.157
	SISTEMA DE LANÇAMENTO	0.100	0.100	0.100	0.300	0.000	7.579	0.000	7.579
	VEÍCULO DE LANÇAMENTO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	6.842	0.000	6.842
	ACOPLAMENTO DA CARGA ÚTIL	0.100	0.100	0.100	0.300	0.000	0.000	0.000	0.000
	OPERAÇÃO DE LANÇAMENTO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.737	0.000	0.737
	SATÉLITE	7.500	29.818	26.027	63.345	0.000	16.163	0.000	16.163
	ESTRUTURA	0.375	3.925	4.975	9.275	0.000	3.200	0.000	3.200
	PROPULSÃO	0.375	1.525	1.375	3.275	0.000	0.800	0.000	0.800
	CONTROLE DE ATITUDE	1.125	4.575	4.125	9.825	0.000	2.400	0.000	2.400
	POTÊNCIA	1.500	5.900	5.200	12.600	0.000	3.000	0.000	3.000
	COMUNICAÇÕES	1.125	6.075	5.925	13.125	0.000	3.600	0.000	3.600
	ANTENA	1.500	4.018	2.377	7.895	0.000	1.118	0.000	1.180
	TELEMETRIA E COMANDO	0.375	1.625	1.525	3.525	0.000	0.900	0.000	0.900
	INTEGRAÇÃO ELÉTRICA	0.375	0.725	0.175	1.275	0.000	0.375	0.000	0.375
	MONTAGEM FINAL	0.750	1.450	0.350	2.550	0.000	0.770	0.000	0.770
	RECEPTOR DIRETO	0.300	0.493	0.293	1.087	0.819	46.056	3.800	50.675
	ANTENA	0.075	0.118	0.068	0.260	0.053	5.320	0.760	6.133
	RECEPTOR DE TV	0.075	0.121	0.071	0.267	0.646	12.920	0.760	14.326
	CONVERSOR	0.075	0.136	0.086	0.297	0.120	24.016	0.760	24.896
	POTÊNCIA	0.060	0.119	0.069	0.248	0.000	0.000	0.760	0.760
	INSTALAÇÃO	0.015	0.000	0.000	0.015	0.000	3.800	0.760	4.560
	TRANSMISSOR	0.200	0.400	0.400	1.000	0.000	3.100	0.000	3.100
	ANTENA	0.100	0.200	0.200	0.500	0.000	0.500	0.000	0.500
	TRANSMISSOR DE TV	0.100	0.200	0.200	0.500	0.000	1.000	0.000	1.000
	FACILIDADES	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.600	0.000	1.600
	PESSOAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	ESTAÇÃO DE RETRANSMISSÃO	0.050	0.100	0.100	0.250	0.000	2.400	0.000	2.400
	ANTENA E TORRE	0.025	0.050	0.050	0.125	0.000	0.600	0.000	0.600
	TRANSMISSOR	0.025	0.050	0.050	0.125	0.000	1.200	0.000	1.200
	FACILIDADES	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0.000	0.600
	RECEPTOR CONVENCIONAL	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.280	0.960	6.240
	RECEPTOR DE TV	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	4.080	0.480	4.560
	INSTALAÇÃO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0.480	1.680
	DIVERSOS	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	TRANSPORTE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	GERÊNCIA DO SISTEMA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	MATERIAL DE ENSINO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	PESSOAL DE CAMPO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Tabela 2-16c

MODELO DE CUSTO DO SISTEMA DE IVE (Continuação)
(Milhões de Dólares)

1-1	OPERAÇÕES ANUAIS				PROGRAMA TOTAL	
	REPOSIÇÃO	MANUTENÇÃO	PAGAMENTO F. SUBSÍDIO	CUSTO OPE- RACIONAL ANUAL TOTAL	CUSTO DE OPERAÇÃO TOTAL	PROGRAMA TOTAL
SISTEMA TOTAL	11.153	5.684	2.362	19.199	191.987	344.126
SISTEMA DE LANÇAMENTO						
VEÍCULO DE LANÇAMENTO	2.187	0.000	0.000	2.187	21.868	29.747
ACOPLAMENTO DA CARGA ÚTIL	1.974	0.000	0.000	1.974	19.742	26.584
OPERAÇÃO DE LANÇAMENTO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.300
	0.213	0.000	0.000	0.213	2.126	2.863
SATÉLITE						
ESTRUTURA	2.957	0.000	0.000	2.957	29.568	109.076
PROPULSÃO	0.486	0.000	0.000	0.486	4.860	17.335
CONTROLE DE ATITUDE	0.121	0.000	0.000	0.121	1.215	5.290
POTÊNCIA	0.364	0.000	0.000	0.364	3.645	15.870
COMUNICAÇÕES	0.911	0.000	0.000	0.911	9.112	24.712
ANTENA	0.547	0.000	0.000	0.547	5.467	22.192
TELEMETRIA E COMANDO	0.170	0.000	0.000	0.170	1.698	10.711
INTEGRAÇÃO ELÉTRICA	0.137	0.000	0.000	0.137	1.367	5.792
MONTAGEM FINAL	0.080	0.000	0.000	0.080	0.797	2.447
	0.141	0.000	0.000	0.141	1.408	4.728
RECEPTOR DIRETO						
ANTENA	4.986	4.606	0.000	9.591	95.912	147.674
RECEPTOR DE TV	0.608	0.532	0.000	1.140	11.400	17.793
CONVERSOR	1.368	1.292	0.000	2.660	26.600	41.193
POTÊNCIA	2.478	2.402	0.000	4.879	48.792	73.975
INSTALAÇÃO	0.076	0.000	0.000	0.076	0.760	1.768
	0.456	0.380	0.000	0.836	8.360	12.935
TRANSMISSOR						
ANTENA	0.000	0.310	0.666	0.977	9.760	13.860
TRANSMISSOR DE TV	0.000	0.050	0.000	0.050	0.500	1.500
FACILIDADES	0.000	0.100	0.000	0.100	1.000	2.500
PESSOAL	0.000	0.160	0.000	0.160	1.600	3.200
	0.000	0.000	0.666	0.666	6.660	6.660
ESTAÇÃO DE RETRANSMISSÃO						
ANTENA E TORRE	0.000	0.240	0.000	0.240	2.400	5.050
TRANSMISSOR	0.000	0.060	0.000	0.060	0.600	1.325
FACILIDADES	0.000	0.120	0.000	0.120	1.200	2.525
	0.000	0.060	0.000	0.060	0.600	1.200
RECEPTOR CONVENCIONAL						
RECEPTOR DE TV	0.624	0.528	0.000	1.152	11.520	17.760
INSTALAÇÃO	0.456	0.408	0.000	0.864	8.640	13.200
	0.168	0.120	0.000	0.288	2.880	4.560
DIVERSOS						
TRANSPORTE	0.400	0.000	1.696	2.096	20.959	20.959
GERÊNCIA DO SISTEMA	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
MATERIAL DE ENSINO	0.000	0.000	0.500	0.500	5.000	5.000
PESSOAL DE CAMPO	0.400	0.000	0.000	0.400	4.000	4.000
	0.000	0.000	1.196	1.196	11.959	11.959

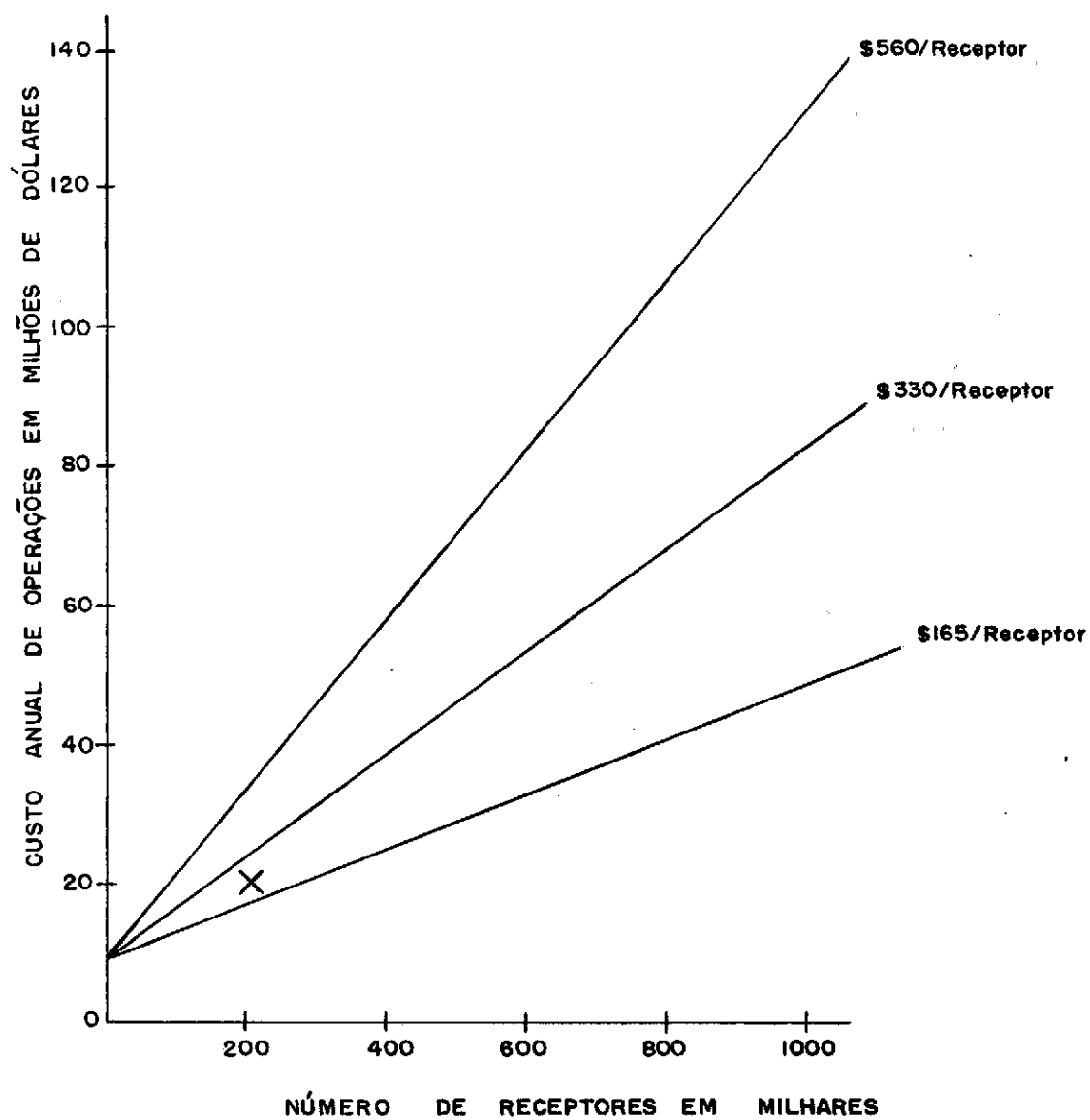


Fig. 2-3. CUSTO DE OPERAÇÃO ANUAL x NÚMERO TOTAL DE RECEPTORES
(2 canais de TVE)

cidade correspondente a este ponto.

Foram feitas várias hipóteses tendo em vista o tipo de audiência atingidos pelo sistema de TVE. A meta é alcançar todos os possíveis estudantes de nível elementar. Devido ao número relativamente pequeno de estudantes secundários que, presentemente, estão sendo educados, provavelmente não seria possível expandir a cobertura para educar todos os possíveis estudantes pertencentes ao grupo com idade de frequentar a escola secundária; é sem dúvida, impossível que o governo proporcione na época da implementação do projeto a educação secundária universal a todos os elementos em idade escolar. Em vista disso, supusemos um crescimento de 10 por cento ao ano. Imaginamos ainda um sistema escolar trabalhando em expedientes de meio dia, com horas alternadas dedicadas à instrução por TVE, isto é, duas classes usarão o conjunto de TVE duas horas cada expediente. Supondo uma classe média de 30 estudantes, o número total de estudantes a serem educados por cada televisão é 120. Isto significa que a população estudantil no "break-even point" deve ser de 74.000.

A população total de estudantes é igual a cerca de 20 por cento da população total de uma cidade. Portanto, na época da implementação, a população da área no "break-even-point" deve ser de, pelo menos, 380.000. Levando em conta a população nas áreas vizinhas às metrópoles e o crescimento da população com o tempo, isto conduziria à cidades cuja população fôsse de 225.000 em 1965.

O número de cidades que usaria terminais de retransmissão é realmente bem pequeno. Se fôssemos, por exemplo, implementar o sistema num período de dez anos, o Brasil teria apenas 12 cidades que usariam as facilidades

Tabela 2-17
IMPLEMENTAÇÃO ATÉ 1980

Estimativa da população (1980) (milhões)	105,0
População das cidades com retransmissão (1980) (milhões)	16,0
Número de cidades	12
População das áreas com retransmissão (1980) (milhões)	24,0
População de estudantes primários (milhões)	19,2
População de estudantes secundários (milhões)	5,1
Total de estudantes (milhões)	24,3
Total de estudantes na área de retransmissão (milhões)	6,0
Total de estudantes na área de transmissão direta (milhões)	18,2
Número de receptores diretos	152.000
Número de aparelhos de televisão	200.000

da retransmissão. O número de estudantes atingidos pela transmissão direta se ria de aproximadamente 75 por cento (veja Tabela 2-17). Assim, os receptores diretos suportariam a maior parte da instrução educacional e seus custos se riam o fator chave no custo total do sistema de educação.

Supondo ser de dez anos o período de implementação, o sistema atin girá todos os estudantes inscritos nas escolas primárias e secundárias, e pro porcionará educação primária a todos em idade de 6 a 12 anos, capazes de ser matriculados na escola. No entanto, fica excluída a educação secundária uni versal, pois o sistema só atingirá 20 por cento do grupo de 12 a 19 anos. Da população estudantil total em potencial (todos entre 6 e 18 anos de idade, es tejam ou não na escola), o sistema atingirá 70 por cento. O número de apare lhos de televisão necessários é de aproximadamente 200.000. O número de ante

nas de recepção direta necessárias será da ordem de 150.000, o que mostra ainda o papel dominante desempenhado pela recepção direta no sistema educacional.

2.2.6.7 Custos Distribuídos no Tempo

Até aqui, expressamos o custo do Projeto SACT em termos do custo anual de operação esperado, após o sistema ter sido estabelecido. Nesta seção tentaremos determinar quais são as despesas surgidas durante os primeiros dez anos de implementação, a fim de poder remover as dificuldades de financiamento do sistema mediante taxaço.

Uma vez que os Estados Unidos têm presentementem vista um sistema doméstico de transmissão direta por satélite, é razoável supor que o custo de pesquisa e desenvolvimento do Projeto SACT que caberia ao Brasil, seria absorvido pelo sistema americano. Mesmo sem isso, o Brasil tem potencial para estabelecer o sistema por si sô. Outra alternativa seria a de vários países contratarem a divisão dos custos num esforço conjunto de desenvolvimento. Nesta análise suporemos que o custo de pesquisa e desenvolvimento foi completamente absorvido.

A distribuição do custo de instalação do Projeto SACT depende de vários fatores. Supôs-se um programa de implementação de dez anos, mas é bem possível que seja necessário executã-lo em menor tempo. A distribuição de custos depende também de serem os aparelhos instalados nas áreas urbanas ou rurais.

Imaginamos que os receptores convencionais seriam todos instalados

no primeiro ano e que os receptores diretos seriam instalados com uma mesma proporção durante um período de dez anos. Para distribuir os custos pelos dez primeiros anos, foi adotada uma aproximação de engenharia econômica. No tempo zero ocorrem gastos iniciais à vista seguindo-se despesas de implementação e operação durante os dez anos subsequentes. Adotando uma taxa de juros de 1% supõe-se um período de amortização de cinco anos para o satélite e o veículo de lançamento, e um período de dez anos para o transmissor e estações retransmissoras. A tabela 2-20 mostra a distribuição de custos resultantes e o nível equivalente de custo anual. Os custos crescem progressivamente até que todo o sistema esteja implementado no décimo ano, época em que começa a ocorrer a substituição dos receptores de TV. Assim é que o custo anual de operação citado na seção 2.5.4 corresponde a uma razoável estimativa do custo anual do sistema. Custo esse que, durante os primeiros dez anos, é ligeiramente inferior ao custo anual de operação durante a fase II de operação.

Tabela 2-18

DISTRIBUIÇÃO PROPORCIONAL DOS CUSTOS DO PROJETO SADI DURANTE UM PERÍODO DE DEZ ANOS
(milhões de dólares)

Ano	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Veículo para Lançamento	7,6					7,6					7,6
Satélite	16,2					8,5					8,5
Receptor Direto	0,8	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0
Transmissor	3,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Estação Retransmissora	2,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Receptor Convencional	6,2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Diversos	0,0	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
Total	36,3	9,3	9,8	10,3	10,8	25,1	11,8	12,3	12,8	13,3	37,6
Nível Anual de Custo = \$18,7 milhões											

* O custo anual do receptor direto cresce porque o custo de manutenção é uma função do número de aparelhos empregados.

REFERÊNCIAS

1. S.S. Alexander, "Public Television - A Program for Action," Carnegie Commission on Educational Television, Bantam Books, 1966.
2. A. Barrios e R. Brown, "Satellite Communications Ground Station Technology," Relatório Nº 66-289, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
3. B. Bauch e C. Wallin, "Launch Vehicles as Support Sub-Systems for Communications Satellites," Relatório Nº 66-286, AIAA Communications Satellite Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
4. Gary S. Becker, Human Capital, Columbia University Press, 1964.
5. C.E. Beeby, The Quality of Education in Developing Countries, Harvard University Press, Cambridge, 1966.
6. H.R.W. Benjamin, Higher Education in the American Republics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1965.
7. W.G. Bowen, Economic Aspects of Education, Three Essays, Princeton University Press, 1964.
8. R. F. Burns, J.F. Delfico, et al, "An Econometric Analysis of an Educational TV Distribution System," Relatório Nº 66-321, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
9. Censo Escolar do Brasil: Resultados Preliminares, Comissão Central do Censo Escolar: Instituto Nacional de Estudos Pedagógicos, 1965.
10. Godwin C. Chu, "When Television Comes to a Traditional Village", Relatório Inédito Apresentado na "The Annual Conference of the Pacific Chapter of the American Association for Public Opinion Research, 28 Janeiro 1966.
11. M.W. Clark, Overseas Chinese Education in Indonesia: Minority Group Schooling in an Asian Context, Washington, D.C., Department of Health, Education and Welfare, 1965.
12. G. Comstock e N. Maccoby, The Peace Corps Educational Television (ETV) Project in Colombia - Two Years of Research, Introduction Reports 1-10, Stanford: Institute for Communication Research, Stanford University, 1966-1967.
13. I. Dlugatch, "A Low Cost Communication Satellite Educational System," SP-2493, Space Systems Corporation, 15 Agosto 1966.

14. W.H. Edwards e J.S. Smith, "Experience of the Defense Communications Agency (DCA) in Operating Pilot Satellite Communications," Relatório Nº 66-268, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
15. Morris Feigen, Neville J. Barter, and L.G. Slaughter, "Description of the Global Communications Sat," Relatório Nº 66-266, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
16. J. G. Fish, "Summary of U.S. Spacecraft," Aerospace Corporation Memo. 2 Dezembro 1965.
17. Florestan Fernandes, Educação e Sociedade no Brasil, São Paulo, Dominus Editora, 1966.
18. N.L. Gage (Ed.), Handbook of Research on Teaching, Chicago, Rand McNally and Company, 1963.
19. B. Broombridge (ed.), Adult Education and Television, National Institute of Adult Education in collaboration with UNESCO, London, 1966.
20. J. D. Gylfe, "Nuclear Power Systems for Advanced High-Powered Communication Satellites", Relatório Nº 66-305, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
21. R.J. Havighurst e R. Moreira, Society and Education in Brazil, Pittsburgh University Press, Pittisburgh, Penn., 1965.
22. International Business Machines, Federal Systems Division, Gaithersberg, Maryland, "Revitalizing the Brazilian Educational System through Audio-Visual Technology: A Feasibility Study," 1966.
23. D. Jamison, "Programing for Instructional Broadcast Satellites", Relatório apresentado na "4th Annual Technical Conference of the American Institute of Aeronautics and Astronautics, Los Angeles, Calif. 1967.
24. M.V. Jamison, "Low Cost Educational Systems for Developing Regions: Application of Systems Analysis to Educational Planning," Dissertação Inédita de Ph.D., University of California, Los Angeles, 1966.
25. Donald M. Jansky and Charles E. Sampson, "Earth Stations for Reception of Television Signals from Stationary Satellite," Relatório Nº 66-311, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
26. Jansky e Bailey, Systems Engineering Department, Division of Atlantic Research Corporation, Alexandria, Virginia, "Technical and Cost Factors That Affect Television Reception from a Synchronous Satellite," 30 Junho 1966.

27. Leland L. Johnson, "Economic Problems of Establishing a Communication Satellite System," RAND Corporation Report, Outubro 1962.
28. D. W. Kyle e R. E. Lave, relatórios inéditos sobre "The Application of Systems Analysis to Education Planning," Institute Engineering-Economic Systems, Stanford University, Calif., Dezembro 1966.
29. Charles D. LaFond, "Enthusiasm Grows for Global Comstats," Missiles and Rockets, 18, 5, 31 Janeiro 1966.
30. D. Lerner, The Passing of Traditional Society: Modernizing the Middle East, The Free Press, New York, 1958.
31. D. Lerner e W. Schramm (Eds.), Communication and Change in Developing Countries, East-West Center Press, Honolulu, 1967
32. Judith Lieberman, "The Costs and Benefits of Education - A Study in Un answered Questions," relatório inédito, Stanford University, 1967.
33. John W. Ludwig, "Distribution of Educational Television by Satellite," Relatório Nº 66-320, ATAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
34. R.F. Lyons (Ed.), "Problems and Strategies of Educational Planning: Lessons from Latin America," UNESCO, International Institute for Educational Planning, Paris, 1965.
35. R.B. Marsten e S. Gubin, "Feasibility Model of a Direct-to-Home TV Satellite Systems for 1969 Launch," Relatório Nº 66-309, ATAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
36. M. B. Miles (Ed.), Innovation in Education, Bureau of Publications, Teachers College, Columbia University, New York, 1964.
37. Ministry of Education, Government of India, Report of the Education Commission, 1964-66: Education and National Development, Delhi, India, 1966.
38. National Academy of Sciences, National Research Council, Alternatives in Water Management, Washington, D.C., 1966.
39. Page Communications Engineers, Inc., Washington, D.C., Feasibility Study of Space and Terrestrial Telecommunications in South America, vol. 3, prepared for the Inter-American Development Bank, 1966.
40. Rex Pay, "Comsat Use Should Swell Dramatically," Missiles and Rockets, 18, 5, 31 Janeiro 1966.
41. "The Pragmatists Move In," The Economist, 29 Abril 1967, pag. 455.
42. Proyecto Principal de Educación, Santiago de Chile, 1961.

43. Quarterly Economic Review - 1966 Supplement, India, Brookings Publishing Co., Washington, D.C.
44. E. M. Rogers, The Diffusion of Innovations, The Free Press, New York, 1962.
45. J. P. Sarumpaet, "New Era in Indonesian Education", Comparative Educational Review, 7, Junho 1963, pags. 66-73.
46. Allan C. Schell, "Ground-Based Antennas for Satellite Communications," Relatório Nº 66-324, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
47. W. Schramm, Mass Media and National Development: The Role of Information in Developing Countries, Stanford/Paris, UNESCO, Stanford University Press, 1964.
48. W. Schramm et al, "The New Media: Memo to Educational Planners," Paris, UNESCO, International Institute for Educational Planning, 1967.
49. Theodore W. Schultz, The Economic Value of Education, Columbia University Press, 1963.
50. Robert M. Solow, "Technological Progress, Capital Formation and Economic Growth", Papers and Proceedings of the Seventy-fourth Annual Meeting of the AEA, 26-29 Dezembro 1961, American Economic Review, 52, 2, Maio 1962, pags. 76-86.
51. Stanford Research Institute, Menlo Park, Calif., "Study of International Telecommunications Policy, Technology and Economics," Maio 1966.
52. Datu Mayjag M. Tamano et al, "Education in Indonesia," unpublished paper, Stanford International Development Education Center (SIDECE), Stanford University, 1966.
53. UN, Economic Survey of Asia and the Far East, New York, 1965.
54. UNESCO, New Educational Media in Action: Case Studies for Planners, International Institute for Educational Planners, Paris, vol. 1-3, 1967.
55. UNESCO, Radio and Television in the Service of Education and Development in Asia, Paris, Papers and Reports on Mass Communications, Nº 49, 1967.
56. UNESCO, Rural Television in Japan: A Report on an Experiment in Adult Education, Paris, 1960.
57. UNESCO, World Survey of Education, vols. 3, 4, Paris, 1961 e 1966.

58. Edgar M. Van Vleck, "Communications Satellite System Cost Estimation", NASA Mission Analysis Division.
59. Burton A. Weisbrod, External Benefits of Public Education, Industrial Relations Section, Princeton University Press, Princeton, N.J., 1964.
60. David D. Werts, "Establishment and Maintenance of a Communications Satellite System," Relatório Nº 66-286, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 May 1966.
61. R.C. Winterbottom, "Satellite Telecommunications for the Emerging Nation," Relatório Nº 66-286, AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.
62. H. Zettle, Television Production Handbook, Wadsworth Publishing Co., Belmont, Calif., 1966.

2.3 USOS COMERCIAIS DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO

2.3.1 Introdução

Embora o principal propósito deste projeto seja o de criar um sistema de satélite para educação através da televisão, esse sistema também oferece meios rápidos de melhorar as telecomunicações brasileiras. De um modo geral considera-se que o sistema de comunicações num país deve desenvolver-se em paralelo com a economia. Com efeito, em muitos casos, telecomunicação só se desenvolve quando fica comprovada sua necessidade. Na verdade a marcha do desenvolvimento econômico ultrapassa, frequentemente, a do sistema de comunicações. Na área costeira do Brasil, por exemplo, homens de negócio são agora obrigados a viajar do Rio de Janeiro para São Paulo e vice-versa para efetuar negócios, que normalmente poderiam ser concluídos por telefone. Assim é que acreditamos ser o estabelecimento de canais de telecomunicações num país em desenvolvimento, antes de ser sentida a necessidade real destes canais, um passo fundamental no incremento do progresso desse país. As comunicações constituem uma parte essencial da infra-estrutura econômica, consequentemente só quando tiverem sido dados os passos iniciais para a construção dessa infra-estrutura é que o comércio e a indústria da nação podem começar a florescer.

Em primeiro lugar as boas comunicações são vitais ao governo que de seje um sentido de coesão e unidade nacional através do país. Em muitos casos nações novas só se mantiveram unidas pelo desejo comum de livrar-se do poder colonialista. Entretanto, uma vez alcançada a independência, o sentido

de unidade nacional desaparece começando a surgir as regionais. No entanto, se a rede de comunicações for melhor, a troca de idéias entre as pessoas ficará facilitada, podendo ser removidas algumas incompreensões em face da política do governo central. Daí a esperança de corrigir com maior probabilidade de de sucesso a tendência ao regionalismo.

Em segundo lugar, e talvez com maior eficácia, as boas comunicações são essenciais à implementação bem sucedida dos planos governamentais para o desenvolvimento econômico do país. Para que um plano de desenvolvimento atinja seus objetivos não é apenas suficiente planejar bem. Um dos múltiplos fatores necessários ao sucesso é a existência de um sistema de controle efetivo, capaz de informar aos planejadores tão logo as coisas comecem a sair erradas. Tal informação, em sentido contrário, será impossível se não existir um canal de comunicação adequado pelo qual ela possa ser transmitida.

Finalmente a construção do sistema de comunicações como parte da infra-estrutura econômica é essencial à atração de capital privado para as áreas menos desenvolvidas do país. Como um governo pode e, por razões políticas, tenta frequentemente implementar seus planos de desenvolvimento sem o mecanismo próprio para fornecer informações adequadas, em sentido contrário como foi acima descrito, a indústria privada, especialmente capital estrangeiro, recusa-se a empreender tais aventuras. Por outro lado, se existem as comunicações e se os operários tiverem sido educados até que sua capacidade tenha atingido a um nível razoável, tudo leva a crer que o capital privado contribuiria de boa vontade para o desenvolvimento econômico da área, o que deixaria o governo livre para concentrar-se em outras coisas.

O Brasil que possui 1,60 telefones para cada 100 habitantes, e tem

uma grande necessidade de desenvolver-se, conta com sistemas de comunicações inadequados.

2.3.2 Comunicações no Brasil

Até que sejam mais largamente instaladas facilidades telefônicas (aparelhos, linhas, e dispositivos de chaveamento), e modernizado o equipamento existente, continuará a existir uma alta demanda de facilidades telegráficas (Veja Tabela 2-19).

Tabela 2-19

VOLUME DE COMUNICAÇÕES INTERNACIONAIS NO BRASIL EM 1965 [4]

Número total de telegramas	25 milhões
Chamadas telefônicas:	
Locais	6,6 bilhões
Interurbanas	107.000
Número médio de chamadas telefônicas por pessoa por ano:	
Brasil	85,2
Estados Unidos	591,0

A urgência associada a estas mensagens é tal que se os circuitos telefônicos ocuparem a capacidade completa do satélite durante o dia, então os telegramas podem acumular-se até que estejam livres, à noite, os canais extras (perfurando-se a informação em fita de papel da maneira convencional) e então transmitidos. Isto permitiria a entrega das mensagens na manhã seguinte, em qual-

quer lugar lugar do país que possua um terminal do satélite, ou que esteja conectado a um terminal por circuitos de microondas ou outros meios. Este ser viço seria superior ao atualmente efetuado pelos circuitos mais fortemente u sados.

Um método de transmitir informações que não vem sendo aplicado em grande escala, mas que parece ser digno de maior consideração, é a transmis são de fac-símiles. Estudos preliminares mostram que poderia ser preparado um sistema capaz de permitir entrega, na manhã seguinte, em qualquer lugar do país de um fac-símile de um documento. O sistema se empresta à automatiza ção e é altamente conveniente para uso em horas de pouco movimento do satêli te.

O emprêgo de um equipamento de alta capacidade de transmitir fac-sí-miles permitiria a publicação, pela primeira vez, de um jornal verdadeiramen-te nacional, e melhoraria materialmente a cobertura de notícias nas cidades do interior e nas aldeias. Várias páginas de notícias nacionais e internacio-nais poderiam ser compiladas num centro de comunicações central e enviadas a todas as cidades equipadas com máquinas impressoras e equipamento fotogrâ-fico relativamente simples. O editor local ficaria assim livre para concen-trar-se nas notícias locais, embora continuasse a fornecer a seus leitores oportuna cobertura nacional e internacional. Um sistema similar está em uso em Hong Kong.

Usando o satélite, durante a noite, no modo de baixa potência, as es-tações equipadas com receptores sensíveis (antenas de 30 pés) poderiam rece-ber transmissões de televisão para retransmissão no dia seguinte. Assim, três canais de televisão poderiam ser transmitidos através do país às áreas den

samente povoadas. Os custos da transmissão de televisão em âmbito nacional seriam reduzidos, mais pessoas ficariam desejando possuir seus próprios receptores, e a eficiência do programa educacional seria aumentada. Não parece haver razão alguma pela qual estes canais, usados principalmente para diversão, não possam transmitir propaganda. A renda daí proveniente poderia contribuir ainda mais para o programa educacional.

2.3.2.1 Sistema de Comunicações Existente

Companhias em Operação. O serviço telefônico no Brasil é efetuado por 538 companhias e municipalidades, a maioria dos quais está sob o contrôle de algum órgão do governo. De acordo com o Código Brasileiro de Telecomunicções de 1962, e o Decreto de 1963 que o regulamentou, todos os planos para o serviço de telecomunicações devem ser submetidos ao Conselho Nacional de Telecomunicações (CONTEL). As principais funções do CONTEL são [4] :

- (1) Elaborar e rever quinquenalmente o Plano Nacional de Telecomunicações.
- (2) Promover, coordenar e dirigir o desenvolvimento dos serviços públicos de telecomunicações.
- (3) Ditar regras de contabilidade e examinar as contas para os concessionários.

No que concerne às telecomunicações o Projeto do satélite SACTI muito dependerá da participação do CONTEL e outros órgãos do Ministério das Comunicações.

Todas as instalações e operações do canal principal do

sistema nacional são monopólio da EMBRATEL, também criada pelo Código de Telecomunicações de 1962. A EMBRATEL é uma companhia de fundos públicos cujas ações só podem ser subscritas pelo governo federal e pelas empresas de comunicações, mantendo o governo federal 97% do capital comercial. Não lhe é permitido pagar dividendos, devendo todos os seus lucros ser revertidos em projetos de telecomunicações. A EMBRATEL irá integrar a operação das estações de rádio em HF pertencentes ao Departamento dos Correios e Telégrafos (DCT) e a ligação por microondas entre Rio de Janeiro e Brasília que pertence ao governo. Para suplementar suas rendas destinadas à expansão, a EMBRATEL tem o direito de impor sobrecargas em todos os serviços públicos de telecomunicações durante os próximos 10 anos.

A EMBRATEL também possui a Companhia Telefônica Brasileira (CTB) que opera em 650 localidades nos estados da Guanabara e de São Paulo. A CTB tem duas subsidiárias: a CTES e a CTMG. A CTES opera em 41 localidades no estado do Espírito Santo, enquanto a CTMG opera em 79 localidades no estado de Minas Gerais. Essas duas companhias operam juntas 62 localidades, 8% dos telefones no Brasil.

No estado do Rio Grande do Sul a maior parte da instalação é administrada pela Companhia Riograndense de Telecomunicações (CRT). A CRT opera agora cerca de 85% dos telefones dos estados. Também em Goiás, o estado possui cerca de 64% da instalação, incluindo a instalação total na capital.

As maiores companhias privadas ainda operando no Brasil são:

1. A Companhia Telefônica Nacional (CTN) associada à ITT, que tem 80% dos telefones no estado do Paraná. Em Curitiba, capital do estado, apenas 10.000 terminais estão instalados no

escritório central havendo capacidade para 40.000.

2. A Companhia Telefônica Catarinense (CTC) que opera 80% dos telefonos no estado de Santa Catarina.
3. A maioria das operações nos estados e territórios do norte e nordeste é conduzida, ao que parece, por companhias particulares cuja maior parte das instalações está situada nas capitais estaduais.

Instalações Existentes. No fim de 1965 havia no Brasil 1,3 milhões de telefones no Brasil, ou seja, 1,6 por 100 pessoas. Dêstes, 369.000 eram no Rio de Janeiro (10 por 100 pessoas), e 296.000 eram em São Paulo (7,9 por 100 pessoas) [4] .

Nos últimos 5 anos, o crescimento anual do número de telefones no país como um todo foi de 4% por ano. Em geral, essa porcentagem vinha se mantendo baixa porque o governo recusava-se a permitir que as companhias operadoras cobrassem taxas suficientes para permitir o investimento em novo equipamento básico. Uma estimativa conservadora indica que a demanda não atendida de telefone é de, aproximadamente, 2 milhões de aparelhos.

A qualidade do serviço local é má, e a porcentagem de chamadas completadas é baixa. Uma parte ponderável do equipamento já instalado não satisfaz às especificações de um sistema moderno e terá de ser substituída. Isto se aplica tanto aos telefones como aos circuitos de ligação.

O governo federal possui uma ligação em microondas, com capacidade de 120 canais conectando Brasília com Belo Horizonte, Uberaba e Rio de Janeiro.

Existe ainda no nordeste um sistema interestadual de microondas ligando João Pessoa, na Paraíba, com Recife em Pernambuco, com 24 canais disponíveis, com Maceió em Alagoas com 12 canais, e com Natal, no Rio Grande do Norte, com 8 canais.

O resto do tráfego, interestadual e internacional depende da HF, que parte do Rio de Janeiro.

Grandes investimentos estão planejados pelo presente governo. O Tronco Sul já está sendo implementado e em breve haverá concorrência para o Tronco Norte. O estabelecimento de uma estação no Estado do Rio de Janeiro para comunicações via satélites também já se encontra em adiantado estado.

Facilidades Telegráficas. Enquanto que a maioria do tráfego telefônico está concentrado no Sul, 92% do tráfego telegráfico origina-se nas seções do norte, do nordeste e do centro do país, cabendo só a esta 46% do tráfego.

A Western Telegraph Company tem um cabo submarino de Belém a Porto Alegre, com conexões em todas as cidades principais da costa, e extensões a Montevideo e Buenos Aires. As conexões para o interior são feitas através de ligações por fios do Departamento de Correios e Telégrafos. Existem também algumas ligações em HF usadas no tráfego telegráfico. Um sistema pertencente à Radional liga o Rio de Janeiro a Buenos Aires e à maioria das capitais estaduais através de canais de rádio ou linhas terrestres.

O número de telegramas (25 milhões em 1965) e seus pontos de origem indicam que existe uma grande demanda de serviços telefônicos nas regiões menos desenvolvidas do país.

Facilidades Manufatureiras. O Brasil tem capacidade para produzir

e fornecer grande parte do equipamento telefônico requerido. Existem, atualmente, algumas companhias no Brasil que fabricam equipamento telefônico. Sua capacidade de produção anual [4] , operando num turno diário, é a seguinte:

Aparelhos telefônicos	300.000 aparelhos
Equipamento de chaveamento	300.000 linhas
Sistemas de microondas	5.000 km de ligação
Cabos telefônicos	400 milhões de metros de condutor

Trabalhando-se em dois turnos por dia, esta produção anual poderia ser aumentada da seguinte forma:

Aparelhos telefônicos	510.000 aparelhos
Equipamento de chaveamento	510.000 linhas
Sistemas de microondas	8.500 km de ligações
Cabos telefônicos	6.800 milhões de metros de condutor

Além disso, as atuais instalações contam com espaço suficiente para uma expansão considerável.

De 80 a 90% do equipamento de microondas e 60 a 80% do equipamento de chaveamento é fabricado no país. Por outro lado, o cobre para os cabos telefônicos deve ser importado e apenas 40 a 60% do custo é contratado localmente [4] . Assim, pois, o investimento nas comunicações não terá de um modo geral sério efeito adverso na balança de pagamentos.

2.3.2.2 Propostas Alternativas

Foram considerados quatro métodos pelos quais o sistema de comunicações do Brasil poderia ser melhorado.

Examinou-se um sistema completo de microondas cobrindo todo o país e descobriu-se sua impraticabilidade neste estágio do desenvolvimento do

país. Mesmo dispondo da enorme soma necessária à implementação de tal sistema e ainda, do pessoal treinado para instalá-lo, sua manutenção ao longo de milhares de quilômetros de densa selva tropical aumentaria de tal forma os custos que mesmo benefícios obtidos não justificariam essa implementação.

A segunda alternativa considerada, consiste numa combinação de microondas e HF na qual a ligação de microondas se estenderia através da região costeira densamente populada reservando-se a HF para comunicações com muitas cidades do interior. Podem ser encontrados detalhes sobre esse sistema no relatório apresentado pela Page Communications Engineers ao Banco Interamericano de Desenvolvimento [4]. Por estar esse sistema esboçado com algum detalhe no estudo da Page, foi êle usado como base a ser comparada com a terceira alternativa, a do satélite, que é discutida na próxima seção.

A quarta alternativa é similar à segunda mas emprega cabo coaxial ao invés de ligações com microondas. Os custos das quatro propostas estão apresentadas nas seções 2.3.3 e 2.3.4.

As principais vantagens do sistema por satélite são:

1. O tempo de implementação é substancialmente reduzido uma vez que as estações necessitam apenas ser instaladas em terminais de comunicações já existentes.
2. Necessita número menor de estações.
3. A capacidade do sistema, particularmente à noite, é consideravelmente maior.
4. O principal equipamento requerido no solo, isto é, a unidade da estação de comunicações, é adequada à produção em massa, e é suficientemente pequena para ser

completamente transportada para a posição em que deve ser usada.

5. A confiabilidade do equipamento no solo é maior se todas as suas partes forem transistorizadas, e se todas as estações forem localizadas em pontos acessíveis nas cidades para facilidade de manutenção.
6. O custo inicial, mesmo considerando os serviços adicionais incorporados, é apreciavelmente menor do que o do sistema Page.
7. O país inteiro pode ser servido com circuitos de alta qualidade que não estão sujeitos às variações nas condições de propagação.
8. O sistema pode ser facilmente expandido em qualquer época, se o potencial de tráfego o exigir ou por qualquer outra razão como seja a de um desastre local.

Entretanto, deve admitir-se que existe a possibilidade, embora remota, de uma avaria inesperada no satélite causar a ruptura parcial ou total do sistema de comunicações. Consequentemente, a confiabilidade foi considerada com grande cuidado pois o projeto do sistema incorpora subsistemas redundantes. Além disso podem ser também feitos ajustes no solo de modo a permitir comunicações de emergência até que o serviço do satélite seja restabelecido. Assim é que foi previsto como parte integrante do projeto concernente às comunicações um sistema parcial de microondas e um serviço de HF para uso em emergência. A maior parte do sistema já está em uso, ou estará quando do lançamento do satélite.

2.3.2.3 Proposta do Satélite

Ao empregar-se um satélite para fins de telecomunicações, há maior economia quando a densidade de tráfego é baixa e as distâncias são longas. Pareceria pois ideal conectar as cidades do interior à rede principal de comunicações, o que forneceria um serviço de melhor qualidade e maior confiabilidade do que permitem os circuitos atuais. Embora o número de telefones por pessoa no interior seja pequeno no momento, isso não deve ser considerado como ausência de demanda potencial, e sim como consequência de má qualidade e do alto preço dos sistemas existentes. O número elevado de telegramas originários dessa parte do país indica o potencial que poderia ser expedido se a qualidade do serviço fosse melhorado.

Quando o sistema tiver sido implementado, a demanda para essas linhas de longa distância aumentará indubitavelmente. A taxa do aumento dependerá da presteza com que possam ser instaladas no país as linhas dos assinantes. Qualquer capacidade do satélite que resta depois de usados os circuitos de longa distância será imediatamente absorvida pelos circuitos de curta distância. Em muitos casos, esses circuitos de pequeno alcance estão sobrecarregados ou nem mesmo existem. Uma vez instalados, as ligações de microondas aliviarão dessa sobrecarga. Isso pode ser feito sem custo adicional pois a instalação das ligações para o interior implicará na colocação de terminais transmissores e receptores não só nas cidades do interior, como também nas maiores cidades costeiras e nos centros regionais de chaveamento propostos.

Duas razões tornam preferível o tráfego de longa distância. Em primeiro lugar, essa orientação estaria de acôrdio com os desejos, expressos pe

lo governo brasileiro, de desenvolver o interior do país. Em segundo lugar, isto encorajaria chamadas interurbanas que são as mais lucrativas. O custo da chamada é independente da distância, ao passo que o preço cobrado por uma chamada interurbana convencional aumenta rapidamente com ela. Essa relação tende a persistir por algum tempo.

A instalação de terminais de satélite em cada uma das maiores cidades, e seu uso para comunicação a curta e longa distâncias, não representa - não redundância alguma das redes de circuitos de microondas existentes ou planejadas. Todavia, elas possibilitarão a instalação mais rápida do sistema de microondas uma vez que grande parte do equipamento utilizado será comum a ambos os sistemas. Assim, o satélite pode ser usado até que a ligação de microondas fique concluída e, então, a mudança poderá ser rapidamente efetuada. O tipo de terminal de satélite proposto para telecomunicações poderá ser facilmente mudado para outra localidade.

Disponibilidade dos Canais do Satélite. O presente estudo é baseado na premissa de se querer um satélite capaz de operar três canais de vídeo de alta potência com 30 MHz de largura de faixa, que possam ser recebidos diretamente por receptores baratos. Mediante comando no solo é possível mudar a configuração para obter-se até 15 canais de vídeo de baixa potência.

Cada canal de vídeo de baixa potência tem a capacidade de aceitar até 600 circuitos de voz. Quando o satélite é empregado para operar canais múltiplos de voz, a separação dos circuitos é feita em estações no solo usando o mesmo equipamento que seria empregado para um sinal comparável de microondas.

O satélite foi projetado com a finalidade principal de prover tele

visão educativa para a nação inteira, ficando designado um canal exclusivamente para tal emprego. Devido à impossibilidade inicial de fornecer programação suficiente o Brasil só necessitará, no início, de um canal a ser usado permanentemente para TVE. Uma vez que o Brasil está interessado em produzir seus próprios programas de TVE, a introdução de material produzido no exterior, nos estágios iniciais, pode prejudicar o sucesso de todo o projeto.

Pode ser necessário um segundo canal com propósitos educacionais, antes que os 5 anos de vida do satélite se esgotem. Contudo, esses canais estarão em uso para trabalho escolar de 8 horas da manhã às 5 horas da tarde e de 5 horas da tarde à meia noite para certas formas de televisão para adultos, deixando-os sem uso entre meia noite e 8 horas da manhã.

Acreditamos que usando um único canal de comunicações (ou dois canais na parte inicial da implementação do programa) durante o dia para operações telefônicas, e todos os três canais, durante a noite, para assuntos menos urgentes, pode ser coletada renda suficiente para cobrir os custos tanto do programa educacional como do desenvolvimento da rede de comunicações em geral.

Usos dos Canais do Satélite. Não é nossa intenção dar uma lista completa de todas as possíveis fontes de renda pelas quais as horas de pico e de mínimo do satélite poderiam ser distribuídas. Todavia, para dar alguma idéia do tráfego potencial, algumas fontes serão descritas de modo sucinto:

É provável que o circuito de comunicações diurnas (40 MHz) seja completamente ocupado com circuitos telefônicos, com preferência dada às ligações de longo alcance. O segundo canal, que talvez não seja requerido imediatamente para TVE, poderia ser parcialmente empregado com esse fim, mas

isso exige que se estabeleça claramente que o canal teria de ser abandonado logo que fôsse necessário aos propósitos educacionais. Consequentemente, os circuitos designados com primeira prioridade para instalação para esse canal devem ser os correspondentes às ligações de microondas. Com isso, a necessidade de circuitos para comunicações diminuiria à medida que a demanda do canal educacional fôsse criada.

Finalmente, embora a transmissão de dados entre computadores não seja algo normalmente associada a países em desenvolvimento, existem agora mais de 100 computadores operando no Brasil. Devido ao alto custo da importação de equipamento eletrônico de processamento de dados, vulgarizaram-se os escritórios para prestação desses serviços. Existem, pelo menos, 15 desses escritórios em operação e esta ficaria facilitada se existissem comunicações adequadas entre esses escritórios.

Renda do Sistema de Comunicações no Brasil. Ao estudar a rentabilidade do sistema, é necessário considerar uma renda adicional, proveniente da implementação do mesmo, que não ocorreria se a proposta fôsse rejeitada. Esse estudo é, pois, muito difícil e requer uma quantidade de dados locais bem superior ao que possuem os autores. Todavia, é lícito esperar os seguintes aumentos da renda:

Aumento do número de chamadas interurbanas	\$10-15 milhões
Fac-símiles	\$10 milhões

Estas cifras foram obtidas deduzindo com largueza os custos de operação e depreciação.

O aumento do número de chamadas telefônicas surge porque: (a) esta

não disponíveis, pela primeira vez, circuitos de alta qualidade e longa distância, e (b) serão removidas certas limitações de capacidade em outros circuitos. A grandeza do aumento é restringida pelas atuais deficiências do chaveamento nos centros telefônicos locais e pelo pequeno número de instalações de aparelhos particulares. Essa deficiência só pode ser melhorada lentamente.

A renda proveniente da transmissão de facsímiles é calculada na suposição de que somente 1% do volume de correspondência do Brasil, que é de 3,8 bilhões de cartas por ano, se movimentará através do sistema com uma taxa de 10 centavos de dólar por página para o usuário. Esta estimativa é excessivamente conservadora, e deixa grande margem para expansão.

Nenhuma estimativa pode ser feita, no momento, com relação às rendas que podem resultar da distribuição de transmissão e material para retransmissões em televisão comercial. Essas rendas podem ser consideráveis.

2.3.3 Custos de Componentes do Sistema

Os custos aproximados de um receptor-transmissor individual para um terminal de comunicações são os seguintes:

Antena	\$ 2,000
Amplificador de potência	\$ 5.000
Unidade Receptor-Excitador	\$ 10.000
Equipamento de Multiplex	\$ 10.000
Equipamento de Facsímile	\$ 3.000

O número necessário de tais estações dependerá de certo modo da extensão do benefício social que a estação confere à comunidade local. Como na maioria dos sistemas de comunicações, algumas partes do mesmo estarão subsidi

diando outras. No Brasil a distribuição de 1000 dessas estações seria mais do que adequada para ligar ao sistema qualquer cidade com a população superior a 3.000 habitantes o que permitiria empregar terminais múltiplos nas cidades maiores [2] .

Sendo de \$30,000 o custo médio por terminal, o equipamento total do sistema de comunicações para o Brasil importará em:

<u>Número de Terminais</u>	<u>Custo</u>
1000	\$30 milhões

Esses custos serão cobertos em 10 anos. Devido ao considerável sucesso experimentado pelas agências internacionais de fornecimento para projetos de telecomunicações, provavelmente, seria possível a obtenção de empréstimos para financiamento desses sistemas.

Outros custos que devem ser levados em consideração são os necessários à pesquisa e ao desenvolvimento do equipamento, o custo de instalação, e os custos de preparação do equipamento de solo sem considerar o terminal. Este último irá, certamente, exceder o terminal, mas nenhuma tentativa para estimá-lo será feita aqui pois isso exigiria um conhecimento local que não é facilmente conseguido. Além disso, o equipamento de solo será comum a qualquer sistema de comunicações que se instale, não sendo especificamente destinado ao uso em conexão com o satélite.

Os custos de pesquisa e desenvolvimento do sistema de comunicações devem ser mínimos. A não ser o maior diâmetro da antena, a unidade receptora não diferirá apreciavelmente da usada no sistema de TVE. O equipamento de multiplex será o mesmo empregado em comunicações por microondas. Do mesmo modo, o transmissor é equipamento padrão. O equipamento de transmissão de fac-

símiles necessitarã algum desenvolvimento para que se encontre um sistema de manutenção que possibilite seu uso automático. De um modo geral, tôdas as técnicas usadas foram desenvolvidas desde hã algum tempo, e os custos para sua integração não devem ser altos.

2.3.4 Custos dos Sistemas Alternativos

Para prover o Brasil de televisão e comunicações de alto grau através do país, sômente três técnicas podem ser usadas: a do satélite, já descrita, a de microondas, ou a do cabo coaxial. O método usado para estimar o custo comparativo dos sistemas é semelhante ao do usado no relatório do "Spacecraft Department of the General Electric Company on Television Distribution for Developing Nations". O método é razoavelmente adaptável à situação do Brasil, onde certas partes do país são muito esparsamente povoadas.

2.3.4.1 Sistema de Cabo

Para todo o Brasil, as necessidades estimadas são as abaixo relacionadas:

Cabo principal	6.000 km
Cabos filiados	100.000 km
Cabos alimentadores	23.000 km

O custo inicial desse cabo será de, aproximadamente, \$200 milhões, incluindo a instalação. Na fixação destas cifras foi omitida a extensa área do país essencialmente populada e que se estende para o interior a partir da fronteira sudoeste com a Bolívia e o Perú.

Supondo novamente que o custo do equipamento acessório necessário é aproximadamente igual ao do cabo, conclui-se que o custo total da instalação do sistema será de \$400 milhões. Além disso uma contribuição anual de 10% para manutenção pode não ser suficiente uma vez que grande parte do cabo circula pela selva, sendo difícil mantê-lo.

2.3.4.2 Sistema de Microondas

Para a cobertura limitada do Brasil, precisaremos de aproximadamente:

	<u>Quilômetros</u>	<u>Tôrres</u>
Tronco principal	6.000	175
Troncos filiados	100.000	3.200
Troncos alimentadores	<u>23.000</u>	<u>1.420</u>
Total	129.000	4.795

O custo dessas estações de microondas depende de muitas variáveis, entre as quais a disponibilidade de potência, a facilidade de acesso e o equipamento eletrônico. Este deve custar cerca de \$15.000 por unidade, incluindo o fornecimento de baterias de reserva. Rodovias de acesso e os cabos de energia num país em desenvolvimento como o Brasil aumentarão esses custos para cerca de \$50.000 por estação.

Para o Brasil, os 3375 distribuidores remotos custarão \$168.750.000 e as 1420 estações terminais custarão \$2.100.000. O sistema total importará, conseqüentemente, em \$170 milhões aproximadamente, com custos de manutenção de 20% anuais.

Tais custos podem ser resumidos como se segue:

<u>Sistema de Distribuição</u>	<u>Custo</u>	<u>Manutenção</u> <u>5 anos</u>	<u>Total</u> <u>5 anos</u>
Cabo	\$400M	\$200M	\$600M
Microonda no solo	\$170M	\$170M	\$340M

M - Milhão

Comparando estes custos com os do satélite (\$30 milhões), notamos que o sa
télite leva uma considerável vantagem. O custo da manutenção do satélite nos
5 anos deve ser pequeno uma vez que poucas terminais são necessários.

REFERÊNCIAS

1. Consumer Index of Markets, J. Walter Thompson Co., Bombay, India, 1963.
2. Hammond's Universal Atlas of the World, C.S. Hammond Co.,
3. George Herz of Burroughs Corporation, Brazil, Personnel Communication, 1967.
4. Page Communications Engineers, Inc., Washington, D.C., Feasibility Study of Space and Terrestrial Telecommunications in South America, Pre
pared for the Inter-American Development Bank, Dezembro, 1966.

2.4 IMPLICAÇÕES LEGAIS INTERNACIONAIS

São tais o objetivo e as necessidades do projeto SACT que o sistema não pode ser estudado tendo apenas em vista suas componentes, isto é, deve ser considerado em seu contexto internacional. Nesta seção, a operação do satélite é considerada dentro da estrutura dos acordos internacionais pertinentes, com atenção especial aos problemas importantes de regulação internacional de transmissão de rádio. Essencialmente são esses os problemas políticos, mas os caminhos relacionados a esses problemas são confusos, variados e mal definidos.

2.4.1 Necessidades dos Satélites de Comunicações

Um dos marcos desta era é a expansão das comunicações globais e eficientes. As comunicações, utilizadas atualmente por poucos figurará, dentro em breve, entre as heranças comuns e esperadas por todos os homens, em todos os lugares. Tal expansão só muito recentemente tornou-se tecnicamente possível graças ao advento dos satélites síncronos. Capaz de cobrir quase a metade da superfície da Terra com seu sinal, o satélite síncrono oferece possibilidades sem precedentes. Devido à sua eficiência comprovada em telecomunicações e à distribuição geral de "broadcast", é ele frequentemente considerado como "a resposta" aos problemas de comunicações do mundo. Como os satélites, e tudo que lhes concerne, envolve, de alguma maneira, o uso de rádio, as demandas futuras de toda a capacidade de comunicações serão afetadas pelos problemas de alocação de frequências. O desenvolvimento rápido dos sa-

têlites de comunicações acarreta sérios problemas de alocação, a serem resolvidos com rapidez. No entanto, os satêlites são muito recentes para que se tenha estabelecido uma metodologia para se tratar êstes problemas. "Atê agora as questões relacionadas às comunicações no espaço exterior têm sido objeto ou de uma prática estatal firmemente estabelecida e claramente elaborada ou de uma convenção ou decisão judicial" [23] . A exiguidade do tempo é a característica primordial da situação global e é por si só um importante problema.

Os poucos, e regularmente limitados, estudos feitos sôbre vários setores dêste problema tem indicado a inconveniência total da política não regulada, não coordenada, do "laissez-faire" na expansão das comunicações. As necessidades atuais do uso do espectro eletromagnético em comunicações móveis, navegação, meteorologia, e telecomunicações - para citar apenas algumas funções que são vitais à sociedade e dependentes de alocação do espectro - certamente levarão ao limite a capacidade do homem de encontrar soluções técnicas, bem antes que essas necessidades sejam totalmente preenchidas. Nêste momento, o fracasso em coordenar, e a recusa em cooperar na solução dos problemas de congestionamento de frequências, resultantes dessa expansão, levarão, desde logo à consequências prejudiciais e inexcusáveis.

2.4.2 A ITU

Atê agora o problema fundamental e geral de alocação tem sido abordado procurando em primeiro lugar a obtenção do uso máximo do espectro eletro-magnético, com uma interferência mínima entre os usuários. A União Inter

nacional de Telecomunicações (ITU) foi fundada em 1865 com esse objetivo. Congregando, atualmente, 122 nações, está funcionando como agência especializada dentro da ONU. Presentemente, os membros da ITU se reúnem uma vez em cada 5 anos numa Conferência Plenipotenciária; vários organismos administrativos como o CCIR (Comitê Consultativo Rádio Internacional) e o IFRB (International Frequency Registration Board) têm sido criados para prosseguir nos assuntos diários da organização. Mas são as Conferências Plenipotenciárias que têm o poder de tomar decisões políticas importantes. Nestas conferências cada nação-membro tem o direito de voto, mas o regulamento prevê o voto múltiplo o que dá o direito a certas nações de ter mais de um voto. Ainda mais, podem ser convocadas, se necessário, Conferências Plenipotenciárias e Conferências Administrativas Extraordinárias, como a Conferência de Regulamento de Rádio de 1963 que distribuiu algumas frequências para o uso de satélites. Entretanto, a incapacidade dos órgãos administrativos da ITU de contribuir efetivamente para o estabelecimento de uma política independente da convocação de uma Conferência Total é uma fraqueza da estrutura da ITU.

2.4.2.1 Procedimento de Distribuição

O processo de distribuição emprega métodos diversos na separação dos diferentes usos de rádio e na minimização da interferência mútua entre os usuários. Para discussão, estes métodos são divididos em duas categorias: frequência e espaço.

(1) Frequência. Como foi acima indicado, a função fundamental da ITU tem sido a de combinar as prioridades dos usos com a quantidade limitada

do espectro de frequências, baseando as decisões presentes num conjunto com
plexo de acordos multilaterais. Em linhas gerais, o presente sistema funcio
na da seguinte maneira: qualquer nação pode usar qualquer parte do espectro,
mas em caso de conflito entre elas, a nação prioritária, de acordo com a dis
tribuição de uso efetuada pela ITU, tem a prioridade principal, isto é, o di -
reito de continuar transmitindo apesar da interferência por ela causada nas
demais transmissões. Quando diversas nações desejam usar uma frequência par
ticular com prioridades iguais, a primeira nação a registrar o pedido de per
missão tem o direito à proteção da ITU.

Uma característica lógica, porém infeliz, desse processo de regis
tro do usuário é que ele dá ênfase a um conjunto de prioridades para os que
chegam primeiro. Ao conceder um espaço de frequência ao primeiro sistema re
gistrado, a largura da faixa está sendo tomada pelas nações desenvolvidas com
a consequente desvantagem para as nações em desenvolvimento. Um sistema e
fe
tivo e justo necessitaria que a ITU reexaminasse continuamente sua distribui
ção de uso, e reservasse espaço de frequências numa base contingente para as
nações atualmente em desenvolvimento, como o Brasil, que só usa, presentemen
te, uma pequena parte do espectro de que irá, dentro em breve, necessitar.

(Nota: A reserva do espectro não exclui o uso daquela faixa por outras na
ções, mas simplesmente reconhece sua distribuição eventual no futuro.) São
grandes os problemas políticos envolvidos ao fazerem-se tais reservas do es
pectro pois as maiores potências são também os maiores usuários do espectro
de frequências, sendo muito discutível sua boa vontade em abrir mão das van
tagens atuais pois eles também prevêm um aumento das suas necessidades no
que tange às comunicações.

(2) Espaço. Além da frequência, também a interferência entre os usuários é controlada por acordos e definições concernentes à alocação e direção das transmissões. Até há pouco o principal cuidado a esse respeito tinha sido o de confinar as transmissões de uma nação a seus limites territoriais, o que define a diretividade das transmissões essencialmente no plano da superfície da Terra. Com o aparecimento dos satélites, novos problemas, surgiram. A interferência poderia agora vir tanto de cima como dos vizinhos. Não mais se confina a duas dimensões, a diretividade passou a ser definida em três dimensões, necessitando-se, portanto, um novo critério de interferência (ver seção 2.4.2.3).

Outro problema de distribuição é o denominado "alocação de janela". Os satélites síncronos devem pairar sobre o equador numa "janela" medindo tal vez $2^{\circ} \times 2^{\circ}$; com o aumento do número de satélites irão diminuir o número e qualidade das janelas possíveis. Um satélite é posicionado numa janela particular dependendo em primeiro lugar, da sua capacidade de cobrir, dessa janela, a área para a qual foi projetado, e segundo, da qualidade da janela, que é uma medida da interferência relativa que ele precisa sobrepujar por estar lá situado (p.e., interferência de satélite para satélite e/ou terra para satélite). Presentemente, consideram-se tais janelas como um recurso internacional. Como o número possível de janelas por região da Terra não é ilimitado, e logo as demandas a serem feitas aumentarão grandemente, a distribuição das janelas deve ser tratada seriamente como um problema que aparecerá por volta de 1970 e que ficará, certamente, sob a autoridade da ITU.

2.4.2.2 A Autoridade da ITU

A ITU tem atualmente pequena autoridade sobre os seus membros, pois estes de fato não obedecem as decisões da ITU sem que isso acarrete consequências adversas. Mesmo quando um usuário do espectro de frequência interfere prejudicial e injustificadamente sobre outro usuário, o que constitui um dos principais problemas para cuja solução foi fundada a ITU, o máximo que ela pode fazer é instruir o usuário que interfere para eliminar a interferência. A única sanção possível para a ITU é cancelar o registro das frequências de signadas para o infrator no Registro Mestre Internacional de Frequências (MIFR) do IFRB. Entretanto, a mera existência dos acordos da ITU e a relativa harmonia até agora verificada parece mostrar que prevalece o desejo da maioria de seus membros de cooperar nos assuntos de uso de frequências. Mas tanto acordos como desejos estão agora a necessitar muito mais do que antes de ponderação e de coordenação eficiente entre os membros.

As respostas para este tipo de problema ultrapassam os objetivos e a extensão deste relatório, no entanto, permitimo-nos formular um julgamento. Considerando a história do processo de distribuição, e a tendência ao aumento do uso do espectro eletromagnético em futuro bem próximo, concluímos que: As emissões de distribuição não serão capazes de resolver definitivamente o problema com a velocidade necessária porque a tecnologia e a política estão mudando tão rápida e radicalmente que qualquer política ou distribuição pode ficar rapidamente obsoleta a ponto de se tornar seriamente prejudicial; e assim, a emissão de distribuição transforma-se numa reavaliação contínua, que acarreta a necessidade dos "processos de acordos" internacionais numa escala sem precedentes.

2.4.2.3 ITU e o Projeto SACI

As frequências mais convenientes ao emprego de satélites de faixa larga estão situados entre 1 e 10 GHz; e por isso esta faixa tem sido subdividida de tal modo que favoreça as comunicações espaciais (Ver seção 3.2). Em particular os Regulamentos de Rádio da ITU de 1963 selecionaram a faixa de 3.7 a 4.2 GHz para uso por satélites de comunicações, do espaço para a Terra. Ainda resta o problema de congestionamento nesta faixa pois ela também tem sido designada para transmissões fixas pois sua frequência é popular nas redes de retransmissão em microondas no solo. O interesse crescente sobre interferência destrutiva entre dois tipos de usos resultou recentemente numa limitação, ainda não testada, da densidade de fluxo (interferência). Aprovado após muito debate, o CCIR (em Oslo: Junho, 1966) recomendou, e a Assembleia Plenária aprovou, o limite de densidade de fluxo de $-152 + \theta/15$ dBm por metro quadrado por 4 KHz de largura de faixa, onde θ é o ângulo de chegada em graus acima do horizonte.

O projeto SACI operará dentro desta restrição.

A convenção da ITU declara que:

"Fica proibido o estabelecimento e o uso de estações transmissoras (estações sonoras e de televisão) a bordo de navios, aviões ou qualquer outro objeto flutuante (ou aéreo) fora dos territórios nacionais".

O princípio de proibir as transmissões de fora dos territórios nacionais não parece considerar o nosso projeto pois refere-se às "transmissões piratas" para nações que as condenam, efetuadas com transmissores localizados ao lado das fronteiras nacionais. Não está claro se um satélite estaria ou não nas categorias cobertas por este artigo; entretanto, a estrutura do SACI,

com suas antenas altamente direcionais, parece livrá-lo dessas proibições, e provavelmente não será discutido. O problema correlato de transmissão pelo satélite sobre os países vizinhos e que não usem o sistema só pode ser resolvido através de acordos bilaterais, caso os países vizinhos desejarem ter sistemas similares, mas separados, através de escolha judiciosa de estações equatoriais (janelas). Em caso de litígio a probabilidade de ações punitivas eficientes é muito remota, sendo que as possibilidades para operação livre de conflitos estão exatamente na habilidade diplomática das nações envolvidas.

2.4.3 Pesquisa

Em nossa opinião, tanto o desejo geral como a finalidade da prática legal de distribuição internacional de frequência são o de otimizar - não necessariamente maximizar - a utilização total do espectro eletro-magnético. Todos estão acordes quanto à necessidade de distribuição de frequências e é compreensão geral de que o espectro é certamente um recurso natural internacional, limitado, útil e em muitos casos, vital. Assim, o processo de distribuição deveria ser baseado numa comparação ponderada dos usos alternativos para os quais o espectro eletromagnético seria colocado, levando em conta as necessidades particulares e os benefícios dos diferentes interesses, objetivos nacionais e internacionais e políticos. Ninguém ainda reivindica a habilidade de resolver o problema, nem mesmo para parametrizar com exatidão o problema, e isso é exatamente o que necessita de maior esforço.

A pesquisa básica, necessária à solução do problema de distribuição de frequências, deve basear-se em estudos técnicos dirigidos no sentido de de

envolver métodos eficientes de ampliação e de multiplexagem, capazes de aumentar ao máximo, a possibilidade de utilização do espectro; basear-se tanbém nos estudos não técnicos dos métodos de coordenação dos esforços internacionais, para obter uma utilização ótima do que fôr disponível. Há um número crescente de pedidos destes estudos para definir os fatôres de contrôle relevantes mas atualmente desconhecidos.

2.4.3.1 Estudos Técnicos

Nos programas de exploração espacial em geral estão presentemente incluídas pesquisas intensivas e razoavelmente bem coordenadas dos proble - mas técnicos que restringem atualmente a expansão eficiente dos sistemas de comunicações por satélites. As áreas principais de interesse são:

(1) Potência. A falta de fontes confiáveis de alta potência, de vida longa e economicamente atrativa, que sejam pequenas e leves para que possam ser usadas em operações espaciais, constitui um limite fundamental das capacidades planejadas e úteis dos satélites. As células solares, como as aqui projetadas, são talvez a melhor conciliação que se possa ter atualmente. Mas uma solução real só pode originar-se dos avanços futuros no desenvolvimento de fontes atômicas de potências. Com o progresso atual, isso não é de se esperar antes dos últimos anos da década de 70.

(2) Antenas. Projetos de antenas e sistemas de alimentação são ainda mais arte que ciência. Os problemas de alta diretividade e eficiência de multiplexagem sem inter-modulação necessitam um trabalho extenso.

(3) Propagação. Os mecanismos de propagação e interferência tan

bem apresentam muitas incógnitas. São necessários mais detalhes referentes à utilização de regiões particulares do espectro de frequência. Se a eficiência de utilização pode ser definida como o melhor casamento da função e da capacidade, então, é necessário estabelecer critérios para decidir quais as capacidades antes de se obter mencionada eficiência.

(4) Equipamento. O aparecimento dos dispositivos em estado sólido, na faixa de GHz, é ainda bastante recente. A pesquisa de dispositivos, que atualmente é feita intensivamente, solucionará os problemas de calor, de alta potência, de radiação e de operação eficiente nessas frequências.

2.4.3.2 Estudos não Técnicos

À luz do que é atualmente oferecido pela tecnologia, o problema de saber onde desejamos chegar pode ser formulado com mais precisão, e é mais importante do que o problema de como serão atingidos os fins. Aquêles que decidem necessitam de diretrizes que os ponham em condições de negociar coherentemente acordos inteligentes.

(1) Economia. Estão ainda para ser pesquisados os métodos adequados à medida atual dos benefícios econômicos e dos custos envolvidos, nacionalmente e internacionalmente, ao usar-se uma região particular de frequências para uma determinada função. Até agora não se encontrou o caminho nem para calcular os custos de redistribuição de uma região de frequências transferindo-a de um uso para outro (a chamada "mudança por punição"); nem o que resulta de não ser usada uma região de frequência para uma certa função (i.e., métodos "trade-off" de desempenhar uma função usando rádio, contra meios sem rádio).

(2) Social. É absolutamente necessária uma melhor compreensão dos anseios de uma sociedade e de suas necessidades, particularmente numa nação em desenvolvimento como o Brasil. Essa compreensão deve ser atingida através de métodos que permitam estimar e ponderar sua importância relativa no desenvolvimento e decidir quais os objetivos prioritários.

(3) Política. Deve ser encorajado o desejo de mútua cooperação para a resolução desses problemas, através de agências da ITU, ou de quaisquer outros meios. Mas o que é ainda mais importante é tornar mais adequado o atual processo de negociação, dando-lhe maior flexibilidade, desde que se pretenda que ele seja capaz de arcar com todas as pesadas demandas que serão feitas logo a seguir. O medo de errar numa decisão ou numa distribuição, o que parece ser a principal obstrução, só pode ser eliminado se houver a habilidade de modificar as definições, as distribuições, e as vantagens de acordo com as necessidades de rápidas mudanças.

2.4.4 Seleção de Frequências

Um parâmetro importante do projeto SACT é a escolha da frequência para sua operação. As considerações técnicas são apenas uma parte do problema mais geral e mais difícil de distribuição de frequências. Aqui os assuntos principais podem ser divididos da maneira seguinte:

(1) Largura de Faixa. A grande largura de faixa é inerente ao grande conteúdo de informação a ser retransmitido através de qualquer sistema de distribuição por meio de satélite síncrono como o SACT. Em particular o conteúdo planejado para o sistema SACT exige que a largura de faixa seja de a-

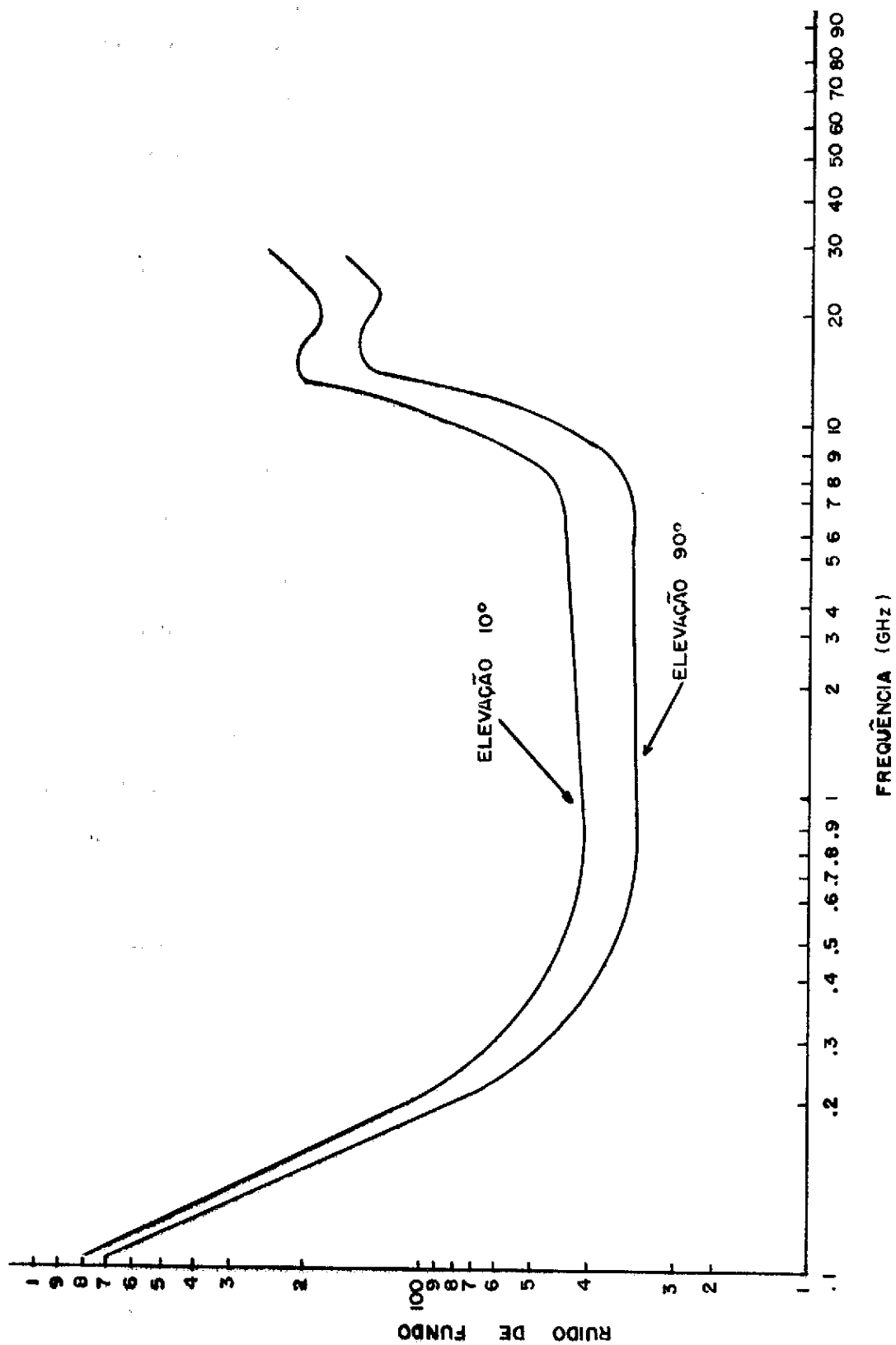


Fig. 2-4. RUÍDO DE FUNDO EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (GHz)

proximadamente 100 MHz. Assim, o limite inferior para nossa escolha de frequência está situado acima de 500 MHz, baseando-se essa escolha apenas no uso a ser feito do sistema, o qual por sua vez é comandado pelo aspecto econômico de sua implementação.

(2) Meio Natural. Como estamos trabalhando com essas frequências, o problema de reflexão ionosférica está eliminado. O ruído galático de fundo é também consideravelmente diminuído ao se trabalhar acima de 500 MHz. A absorção torna-se um sério problema quando a frequência se aproxima de 20 MHz. Considerando apenas o nível de ruído, convém concentrar a atenção na faixa de frequências compreendida entre 500 MHz e cerca de 10 GHz (ver figura 2-4).

(3) Equipamento. As técnicas usadas no equipamento de transmissão do satélite estão relacionadas diretamente à frequência de operação. A operação em frequências mais baixas necessita de uma antena muito maior. A potência efetiva irradiada como função da frequência é outro fator que tende a nos levar para frequências maiores; antena maior e necessidades de potência das frequências mais baixas significam um peso adicional e problemas mais difíceis nos controles das órbitas. Por outro lado, a operação em frequências muito altas (ao redor de 10 GHz) necessita de um equipamento que ainda é qase artesanal, e cuja grande parte ainda não foi provada no espaço. Assim, a confiabilidade do equipamento, para assegurar ao satélite uma vida de cinco anos, tende a repelir o uso de frequências muito altas (acima de 10 GHz). Finalmente, essas frequências maiores têm natureza mais diretiva o que torna mais convenientes, no que concerne à conservação do espectro, ao uso em telecomunicações como ligações de ponto a ponto do que na distribuição geral ou para fins de rádio-difusão projetados para o SACT. As frequências mais altas,

têm, portanto, características úteis que seriam desperdiçadas se fossem usadas num sistema geral de difusão como o proposto.

(4) Distribuição. Considerações sobre a interferência natural, o ruído, e as limitações de equipamento começam justamente a tocar os problemas mais amplos envolvidos na distribuição de frequências. Mas do ponto de vista de engenharia só é necessário conhecer quais frequências particulares "legalmente" disponíveis para uma necessidade particular do projeto. Assim, é que só nos interessa aqui, saber que para as comunicações espaciais as frequências seguintes, compreendidas entre 1 e 10 GHz, foram distribuídas pela União Internacional de Telecomunicações (ITU):

1.427 - 1.429 p	5.670 - 5.725
1.525 - 1.540	5.925 - 6.425*
1.700 - 1.710	7.250 - 7.300 p
2.290 - 2.300	7.300 - 7.750*
3.400 - 4.200*	7.900 - 7.975
5.250 - 5.255	7.975 - 8.025 p
	8.025 - 8.500

p significa que o uso prioritário é em comunicações espaciais.

* significa que a largura de faixa é suficiente para os nossos objetivos.

Uma última razão para a seleção da faixa de 3.4 a 4.2 GHz é que ela é a faixa atualmente requisitada nos E.U.A. para um sistema de distribuição de TV similar ao SACT em projeto e função, e como tal, talvez seja atualmente a mais provável faixa a ser concedida. Entretanto essa escolha deverá ser ainda estudada com mais profundidade, pois há controvérsias a respeito. Uma análise mais detalhada é encontrada na seção 3.2.1 do presente relatório.

REFERÊNCIAS

1. Communication Satellites: "Technical, Economic and International Developments", Staff Report prepared for the use of the Committee on Aeronautical and Space Sciences U.S. Senate, 25 Fevereiro, 1962.
2. Dellinger, J.H., "Radio Frequencies", International Science and Technology, julho, 1962.
3. Doyle, "International Satellites Communications and the Law", McGill Law Journal, 11:137, 1965.
4. Estep and Kearse, "Space Communications and the Law: Adequate International Control After 1963". Michigan Law Review, 60:873, 1962
5. "Final Acts of the Extraordinary Administrative Radio Conference to Allocate Frequency Bands for Space Radiocommunication Purposes," TIAS 5603, Geneva, 1963.
6. Frutkin, A. W., "International Cooperation in Space Affairs - Past, Present and Future, as it Relates to World Communications and Intelsat", Private Paper, January 1967.
7. Glazer, J.H., "Infelix ITU - The Need for Space-Age Revisions to the International Telecommunication Convention", Federal Bar Journal, 23:1, 1963.
8. Glazer, J.H., "The Law-making Treaties of the International Telecommunications Union Through Time and In Space", Michigan Law Review, 60:269
9. "International Telecommunication Convention and Related Materials", I.T.U. Report of Activities, 1965.
10. "International Telecommunication Convention," TIAS 4892, Geneva, 21 de dezembro, 1959.
11. Johnson, "The Commercial Uses of Communications Satellites," California Management Review, 5:55. Primavera-1963.
12. Levin, "Organization and Control of Communications Satellites", U. of Penn. Law Review, 113:315, 1965.
13. Rubin, P.A., "Educational Television Satellite System for Mexico", Paris, France, março (8-22), 1967.
14. Segal, "Communications Satellites", Vanderbilt Law Review, 17:677, 1964.

15. "A Symposium on Communications Satellites: Modern Challenges to Traditional Doctrine", N.W. Law Review, 58:214, 1963.
16. ITU, "Technical Assistance to New or Developing Countries for the Development of Communications", Geneva, 1963.
17. "Technical and Economic Comments of the Ford Foundation Before the Federal Communications Commission", Dezembro (12), 1966, Docket NO 16495, Vol. III.
18. "Technical Submission of Communications Satellite Corporation Before the Federal Communications Commission", 16-dezembro, 1966, Docket NO 16495.
19. U.N. Document A AC 105.1.12, "Review of Activities of the Committee on Peaceful Uses of Outer Space", 1964.
20. U.N. General Assembly Resolution: 841 (IX), 17-dezembro, 1954; 1721 (XVI), 20-dezembro, 1961; 1962 (XVIII), dezembro (13), 1963; 2222 (XXI), 19-dezembro, 1966.
21. UNESCO Document CS 0965. 24 MC.30 (WS), "Technical Aspects of Direct Broadcasting from Earth Satellites," Outubro (15), 1965.
22. UNESCO Document CS 1065.22 MC.30 (WS), "Some Legal Aspects of Television Transmissions by Satellite", 29-Outubro, 1965.
23. UNESCO Document C5 1165.41 MC.30 (WS), "The Use of Space Communication: International Cooperation and International Control", 26-Novembro, 1965.

2.5 FINANCIAMENTO PARA O SISTEMA

A infraestrutura econômica do Brasil não está suficientemente desenvolvida para permitir a construção do sistema com materiais produzidos exclusivamente dentro de nossas fronteiras. Grande parte do equipamento terá de ser importado, especialmente para a construção e lançamento da parte espacial do projeto. O Brasil talvez tenha que usar fundos internacionais para executar o projeto. Esta seção considerará o impacto da implementação do projeto SACI nas reservas financeiras e estudará a maneira de minimizar esta sobrecarga. Embora também sejam importantes os problemas de financiamento da produção dos componentes fabricados no país, eles não serão aqui considerados.

3

2.5.1 Divisas

As necessidades de divisas estrangeiras no custo total do sistema é apresentada na Tabela 2-20. Com base na estimativa de custo conclui-se que todo o sistema custará US\$147.7 milhões. Admitindo que o Brasil poderá produzir, dentro do país, grande parte do equipamento para o segmento terrestre, precisaremos comprar cerca de US\$53.5 milhões em equipamentos no exterior, ou seja aproximadamente em terço do custo total do sistema.

Entretanto, os algarismos da Tabela 2-20 devem ser encarados com restrições. Em primeiro lugar as suposições acerca do número de satélites de reserva necessários, os gastos de lançamento do foguete, e as necessidades de pesquisa e desenvolvimento foram provavelmente muito pessimistas. Os custos foram computados admitindo que só um país iria desejar um satélite, e assim

a divisão desses custos por vários países era impossível. De fato, parece que mais de um país vai desejar a implementação de um sistema como este, ou outro análogo. Havendo cooperação entre os países, poderão ser feitos arranjos apropriados para que sejam compartilhados os satélites de reserva, os custos de pesquisa e desenvolvimento, e em alguns casos, os gastos de lançamento de foguetes. Deve notar-se que se o Intelsat construísse o segmento espacial para estes sistemas, os custos associados poderiam ser distribuídos por todos os membros da organização (ver seção 2.5.3).

Em segundo lugar, o Brasil tem a capacidade de produzir os aparelhos de televisão necessários para o programa SACT para atender as necessidades anuais previstas de 20.000 aparelhos o que só representa cerca de 6 por cento da produção atual.

Finalmente, a compra de equipamento estrangeiro será feita num período de dez anos, à medida que o segmento terrestre for gradualmente implementado e expandido. Assim, não haverá um gasto repentino e excessivo das reservas e divisas. Em vez disso, haverá uma drenagem lenta de pequenas somas ao correr dos anos (ver Tabela 2-21). E até que exista facilidade de crédito ou possa ser conseguida assistência estrangeira, essa evasão das reservas financeiras poderá ser adiada para o futuro, até que o país esteja mais capacitado a comprar esses artigos produzidos no estrangeiro.

2.5.2 Posições de Liquidez

Quaisquer que sejam as suposições acerca do impacto do projeto sobre as reservas financeiras do país, é claro que não temos reservas extensas pa-

Tabela 2-20

NECESSIDADES DE DIVISAS ESTRANGEIRAS NO CUSTO TOTAL DO SISTEMA
(US\$ milhões)

Necessidades de Divisas	US\$ milhões
<u>Total</u>	53.5
<u>Segmento Espacial</u>	
3 satélites (2 operacionais; 1 reserva)	24.3
Pesquisa e Desenvolvimento do Satélite (sem contribuição para o avanço da arte)	10.0
Dois lançamentos	13.2
<u>Segmento terrestre</u>	
Setor de comunicações	6.0
Todo o equipamento (20% no estrangeiro)	
<u>Custo total do sistema</u> (Divisas internas e externas)	116.1
Segmento espacial e segmento terrestre educacional	86.1
Setor do segmento terrestre de comunicações	30.0

ra aplicar neste ou noutros projetos. A Tabela 2-22 indica que as reservas de ouro e divisas estrangeiras do Brasil estavam caindo. Além disso em 1966, o valor das exportações foi inferior ao das importações; se persistir essa balança negativa de pagamento, aumentará a drenagem das reservas financeiras do Brasil. Entretanto, como já foi mencionado, o Brasil só precisa importar parte do sistema, e só uma fração dessas compras externas terá de ser paga em data pré-determinada. Tudo indica que a situação do Brasil tende a melho

Tabela 2-21
DESEMBOLSO DURANTE OS 10 ANOS DE IMPLEMENTAÇÃO

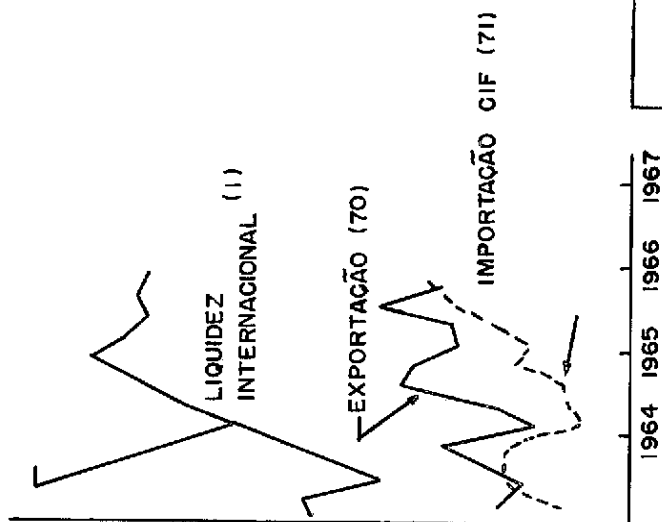
Ano	Propósito	US\$ milhão
0	Satélite Lançamentos Transmissor Implementação Custos Operacionais	16.2 7.6 3.1 2.1 1.1 <u>30.1</u>
1	Implementação Custos Operacionais	7.5 3.0 <u>10.5</u>
2	Implementação Custos Operacionais	7.5 3.9 <u>11.4</u>
3	Implementação Custos Operacionais	7.5 4.8 <u>12.3</u>
4	Implementação Custos Operacionais	7.5 5.7 - <u>13.2</u>
5	Satélite Lançamento Implementação Custos Operacionais	8.1 7.6 7.5 6.6 <u>29.8</u>
6	Implementação Custos Operacionais	7.5 7.5 <u>15.0</u>
7	Implementação Custos Operacionais	7.5 8.4 <u>15.9</u>
8	Implementação Custos Operacionais	7.5 9.3 <u>16.8</u>
9	Implementação Custos Operacionais	7.5 10.2 <u>17.7</u>
10	Implementação Custos Operacionais	7.5 11.1 <u>18.6</u>

rar substancialmente nos próximos anos.

Tudo indica também que o Brasil poderá estabelecer o sistema sem as assistência estrangeira. É mais uma questão de prioridade e metas nacionais, pois os fundos gastos neste projeto não serão mais disponíveis para outros projetos que também necessitarão de componentes estrangeiros. Como a ordem de prioridades de desenvolvimento é certamente discutível, a eficácia da assistência externa poderá ser decisiva na resolução de adotar-se o sistema SACT.

Tabela 2-22

LIQUIDEZ INTERNACIONAL E BALANÇA DE PAGAMENTOS
(Milhões de US\$ dólares)



Divisas estrangeiras necessárias para o SACI- $\$53.5$

	1963	1964	1965	1966
Todos os fundos monetários do governo Ouro (Incluindo as reservas do FMI) Divisas Estrangeiras Transações Internacionais Exportação Importação	216	252	505	410
	150	91	63	58
	66	191	442	352
	1407	1433	1596	1743
	1486	1264	1097	1496*

*No último quarto de 1966 as exportações brasileiras excederam às importações de US\$26 milhões.

Fonte: Fundo Monetário Internacional, International Financial Statistics, Vol. XX, Maio 1967

2.5.3 Intelsat

A construção segmentada poderia ser financiada através do Intelsat que é uma junta internacional destinada a construir, lançar e operar satêlites de comunicações internacionais. O Intelsat arrenda aos membros (cêrca de 60 nações, incluindo o Brasil) canais de utilização do satêlite. Foram distribuídas aos membros quotas de propriedade em proporção à sua participação histórica no tráfego de comunicações internacionais: em 13 de abril de 1966, o Brasil tinha uma quota de 1.475.607. Contribuições de capital, partes no dividendo, e direitos de voto são todos determinados de acôrdo com essas quotas de propriedade.

A Corporação de Satêlites de Comunicação (Comsat) representa os intêresses dos Estados Unidos na organização. A Comsat foi criada, por um ato especial do Congresso, em 1962, com o propósito de desenvolver um sistema global de satêlite para os Estados Unidos. Ela está ligada de um modo especial ao governo americano. O Presidente indica três dos diretores da Comsat com o "advise and consent" do Senado. Além disso, as atividades da Comsat são, até certo ponto, controladas pelo "Office of Telecommunications Management" da Casa Branca do Departamento de Estado. A Comsat está também sob a jurisdição da Comissão Federal de Comunicações. A Comsat é proprietária de mais da meta de do sistema Intelsat. Ela atua como um gerente do Intelsat, e no cumprimento de suas tarefas de gerência, ela organiza a construção e o lançamento dos satêlites do Intelsat.

As decisões políticas do Intelsat são tomadas pelo seu "Interim Committee" que é composto de membros que possuem ou representam membros que coletivamente possuem quotas de 1 e 1,5% ou mais. A Comsat é a presidente do

"Interim Committee". Os membros têm números de votos iguais às suas quotas, e como consequência o voto é ponderado para evitar que a Comsat com sua parte majoritária controle todas as decisões do Comitê. Não obstante, a Comsat po de vetar qualquer proposição com a qual não concorde, e pode forçar a passa gem de suas propostas com a ajuda de outro país com quota considerável, tal como o Reino Unido. Na prática, contudo, a Comsat tem tido o apoio da maio ria dos outros membros do "Interim Committee" nos projetos até aqui sugeri dos.

Os acordos básicos que criaram o Intelsat devem ser renegociados em 1969. A organização manterá sua atual estrutura até que sejam completadas as novas negociações, mesmo que venha a ocorrer um acordo final até depois de 1969. Enquanto as propostas dos vários países não são divulgadas, podem ser feitas certas generalizações sobre alterações necessárias. Os Estados Unidos devem abandonar seu controle majoritário da organização. Embora os Estados U nidos forneçam a tecnologia do satélite e a energia do foguete, que de outro modo não seriam disponíveis, e cobranças ao Intelsat pelos lançamentos não incluem a parte das despesas relativas à pesquisa e ao desenvolvimento; o con trole majoritário por parte dos Estados Unidos não parece ser justificado aos outros membros da organização. A França em particular tem objetado contra a grande participação dos Estados Unidos no sistema. A retenção pelos Esta dos Unidos de mais de 50% de propriedade pode ser politicamente inaceitável para outros países.

Também, o sistema de quotas se for mantido deverá ser reformulado. Co mo as propriedades das quotas são baseadas em padrões históricos de tráfego e outras facilidades, e o novo sistema de satélite é projetado para manter u ma paridade grosseira entre essas quotas históricas e o uso futuro do siste

ma, o sistema Intelsat está duplicando facilidades já existentes ao invés de se expandir em regiões que nunca possuíram ou foram capazes de possuir serviços de telecomunicação. E desde que o grosso do tráfego pré-satélite era entre os países desenvolvidos ou entre eles e os países em desenvolvimento, essa perpetuação dos padrões históricos de tráfego pelo Intelsat acentua ao invés de eliminar a diferença entre os países desenvolvidos e os em desenvolvimento no que diz respeito às telecomunicações. Embora os países em desenvolvimento não estejam expressamente proibidos de utilizar o sistema Intelsat em maiores proporções do que suas quotas, eles devem pagar uma taxa de 14% por uso em excesso de suas quotas, pois eles estão usando facilidades construídas com capital de outra nação para transmitir essas mensagens extras.

Em terceiro lugar, os acordos deverão esclarecer o status dos satêlites a serem usados apenas para fins domésticos. Conquanto o prôlogo do acôrdo de 1964 estipule que o Intelsat construirá "um único sistema global" para "tôdas as nações do mundo" não é evidente que tal sistema deva incluir satêlites para uso doméstico. Uma vez que as quotas dos membros foram fixadas de acordo com as suas partes respectivas no histórico do tráfego internacional de telecomunicações, parece lógico que os esboços foram primeiramente dirigidos para um sistema de satélite para uso internacional. Dada essa ambiguidade de no acôrdo, parece apropriado concluir que embora o Intelsat não esteja expressamente proibido de construir e lançar satêlites para utilização domêstica por uma nação, não existe obrigação da parte dos membros de empregar o sistema Intelsat com tal objetivo. O que quer que pareça apropriado sob os acôrdos atuais, a ambiguidade deve ser eliminada no acôrdo renegociado.

Foi sugerido que como resultado das negociações, o Intelsat deve desistir de suas funções de propriedade e gerência e concentrar-se exclusiva-

mente em regular o uso de frequência e "espaços de estacionamento" para satélites síncronos. Outra fonte propôs a manutenção do sistema de quota, mas baseando-o no uso real do sistema ao invés das partes históricas do tráfego de telecomunicações. Esta última proposta, embora sensata, não prevê a determinação dos limites que podem ser impostos, se é que algum existe, sobre o direito de uma nação exigir uso crescente do sistema. Se a demanda total exceder a capacidade das facilidades, algum grupo terá de decidir que outras facilidades devem ser criadas e que usos ou nações terão a prioridade de serviço.

O Acôrdio Internacional do Café de 1962 poderia fornecer um modelo útil para os delineadores dos acôrdos revistos do Intelsat. Naquele documento, grande número de países importadores e exportadores de café concordaram em regular as vendas do produto por um sistema de quota que contrabalançasse o ímpacto da superprodução crônica de café sobre os preços do mercado mundial. A cada país exportador foi dada uma quota de exportação baseada em grande parte na sua participação histórica na produção mundial. A cada país importante foi atribuída uma quota igual à sua parte no consumo total de café, calculado para os 3 anos precedentes. As decisões políticas foram confiadas a um Conselho que era composto de todos os membros da organização. As decisões são tomadas por maioria simples ou, em alguns casos, por maioria de 2/3, com os membros importadores e exportadores votando separadamente. Foram dados 1000 votos a cada um dos grupos, 150 destes foram distribuídos proporcionalmente entre os países, e os restantes foram distribuídos de acôrdio com as quotas. Uma Junta Executiva de sete membros tem a responsabilidade pelos assuntos diários da organização. O Conselho também pode delegar todos os seus poderes à Junta E-

xecutiva, para sua decisão, exceto no caso de decisões políticas. Não existe requisito de representação nacional nas Juntas Executivas. Desde que o Conselho toma as decisões nas matérias mais importantes, mostrou-se desnecessária a representação para cada nação ou bloco de nações na Junta. O Conselho decide todas as disputas que surgem sob os acordos, e pode, para isso, consultar uma equipe especializada sobre sua opinião legal.

Podia ser adotado um arranjo similar para o Intelsat. Se um Conselho de todos os membros ao invés de selecionar "Interim Committee", tomasse decisões políticas básicas, mais membros poderiam participar do processo de tomada de decisões. A distribuição de alguns votos numa base de proporcionalidade, como no Acordo do Café, seria um grande passo para o atendimento de alguns membros do Intelsat que desejam voto unitário por nação. Além disso, a distribuição dos votos restantes de acordo com as quotas, fará com que possam ser satisfeitas as exigências dos outros membros do Intelsat, que julgam que o controle da organização deve estar nas mãos dos que contribuíram com os maiores investimentos e utilização. Se o sucessor do "Interim Committee" tomar decisões de gerência e não políticas, o Comitê poderia livrar-se de algumas das forças divisionárias dos estados com grande quota.

Qualquer que seja o esquema finalmente adotado para o Intelsat, o sistema atual não convém a um projeto tal como o SACT. Segundo os acordos atuais, se o Intelsat participasse do projeto ele possuiria os satélites cujos canais alugaria aos estados receptores, uma vez que as quotas não poderiam ser ajustadas para incluir esse tráfego doméstico do satélite, eles seriam forçados a pagar ao Intelsat uma taxa de 14% correspondente ao tráfego que excedesse sua quota. Além do mais, em segmento espacial operado pelo Intelsat seria mais vulnerável à interferência estrangeira do que outro sistema. Por exemplo, diversos

brasileiros que foram entrevistados durante o correr deste estudo levantaram a possibilidade de que a Comsat, como gerente da organização, pudesse abusar de suas responsabilidades de manutenção da estação interceptando um satélite ou desviando-o da posição escolhida, conforme os objetivos da política exterior dos Estados Unidos. Embora isso pareça improvável é possível que essa solução gere em nações sensíveis a idéia de que o Intelsat é "uma ferramenta do imperialismo capitalista americano". Mais realisticamente, o receptor depende ria do Intelsat para reposição e facilidade de emergência para o satélite. O cumprimento das garantias de fornecimento desses serviços dependeria, em parte, da boa vontade dos outros membros do Intelsat para com o estado receptor.

Naturalmente, se pudesse ser adotada uma forma que aumentasse o contrôle dos estados receptores sobre seus satélites, ou dentre a organização do Intelsat e se pudessem ser encontrados meios de tornar as quotas iguais para utilização do satélite, então a propriedade do Intelsat poderia ser preferida pelos países receptores. O Intelsat tem aptidões coordenadas que lhe permitem evitar duplicação desnecessária de despesas para pesquisa e desenvolvimento, veículos de lançamento e satélites sobressalentes. Além disso, a cobrança de aluguel pelo Intelsat ao receptor seria periódica, o que evitaria, uma drenagem repentina das reservas financeiras do receptor para financiar o segmento espacial.

Estando em suspenso a revisão dos acordos do Intelsat para corrigir essas deficiências, os estados receptores julgariam que a compra de seu pró-prio satélite de um país desenvolvido é um arranjo mais desejável do que o aluguel de canais do Intelsat. Considerando que os países possuirão e manobrarão o segmento espacial sem a participação estrangeira, o sistema não será

vulnerável à interferência estrangeira. Se houver competição entre os países desenvolvidos para o fornecimento do sistema, o país receptor não necessita preocupar-se em depender de uma única organização ou país para a sua substituição ou facilidades de emergência. Ele estará em condições de aproximar-se de qualquer das nações em condições de oferecer tais serviços. A compra de um satélite de um país desenvolvido também cria a possibilidade de uma estreita colaboração entre ele e a nação receptora. Se diversas nações competirem pelo contrato, seu orgulho nacional poderia ser suficientemente aumentado para garantir crédito favorável ou termos de empréstimo. Tendo estas considerações em vista, parece-nos que o projeto deva ser essencialmente brasileiro. A CNAE prepara-se para esta solução. Alguma ajuda para o segmento terrestre poderia ser obtido da mesma maneira como fora visto acima.

2.5.4 Ajuda

Quaisquer que sejam os arranjos efetuados para o segmento espacial, é claro que uma ajuda será bastante útil para a compra do equipamento do segmento terrestre.

A ajuda é geralmente de duas formas: concessões não reembolsadas e empréstimos. Os empréstimos são ainda subdivididos em empréstimos "hard" e "soft". Empréstimos "hard" são oferecidos em termos comerciais ordinários, geralmente para projetos específicos e frequentemente produzem rendas. Esses empréstimos são frequentemente reembolsáveis dentro de 20 anos com taxas de juros geralmente entre 4 e 8 por cento. Os empréstimos "soft" são usualmente mais favoráveis para quem os toma. As taxas de juros podem cair abaixo de 1%. São comuns os juros nulos ou extre-

mamente baixos, com períodos de 10 anos de isenção de pagamento. Tais empréstimos são frequentemente reembolsáveis depois de um período de 40 a 50 anos, algumas vezes na moeda do país prestador. Empréstimos "soft" são comumente utilizados para o financiamento de programas de desenvolvimento generalizados ao invés de projetos específicos, embora não sejam raros empréstimos "soft" para projetos específicos de desenvolvimento, especialmente quando o projeto não produzirá rendas.

Assistência bilateral é a forma de ajudar mais comum. Os Estados Unidos tradicionalmente têm tido o maior programa de ajuda bilateral. Recentemente os termos da ajuda norte-americana foram tornados mais rígidos. As concessões foram quase inteiramente substituídas por empréstimos "soft". Provavelmente, em parte devido às dificuldades da balança de pagamentos dos Estados Unidos, a maior parte do auxílio limita-se agora ao fornecimento de materiais dentro dos Estados Unidos. A maior parte da ajuda norte-americana é administrada através do Export-Import Bank e a Agency for International Development. O Eximbank oferece empréstimos "hard", a AID fornece empréstimos "soft" e assistência técnica. A ajuda dos Estados Unidos está concentrada num número limitado de países. Em 1967, por exemplo, 84% da assistência americana foi enviada a oito nações entre as quais o Brasil [8] .

Outras nações industrializadas oferecem ajuda, mas não na escala maciça dos Estados Unidos. A França tem um programa de auxílio considerável para as antigas colônias francesas, principalmente na África. A Grã-Bretanha fornece ajuda para suas ex-colônias e para os membros do Reino Unido; entretanto, as severas dificuldades financeiras da Grã-Bretanha parecem tornar impossível ou pelo menos extremamente difícil a continuação dessa assistência.

A Alemanha dá alguma assistência para materiais lá procurados, mas os termos de empréstimo alemão são bastante duros. Embora alguns fundos estejam disponíveis como reparações da Segunda Guerra Mundial, outra ajuda japonesa consiste, primordialmente, em empréstimos "hard".

Os países Sino-Soviéticos frequentemente prestam assistência para programas de desenvolvimento. A União Soviética e os países do Oeste Europeu dão considerável ajuda, principalmente a Índia e a República Árabe Unida. A maior parte dessa ajuda é empregada ou na criação de indústria pesada ou em pequenos projetos tais como hospitais. Esta ajuda é geralmente na forma de empréstimo de pequeno juro, repagável num período de 20 anos. Algumas vezes o reembolso é em moeda local. A China Comunista estende alguma assistência, principalmente aos estados Africanos, em termos muito parecidos com os da União Soviética e dos estados comunistas da Europa Oriental.

Além de estender a assistência bilateral, muitos países doadores de assistência contribuem para organizações de ajuda multilateral. A ajuda multilateral é apenas uma pequena parte da ajuda total disponível para países em desenvolvimento. Ao contrário da ajuda bilateral, ela não obriga ordinariamente, que as aquisições sejam feitas num país específico. Conquanto, existam numerosas organizações de ajuda multilateral, apenas umas poucas são relevantes para este projeto: O Banco Mundial, sua filiada, a Associação para o Desenvolvimento Internacional (IDA) e o Banco Interamericano.

O Banco Mundial oferece assistência principalmente para projetos que produzirão rendas. Seus termos de empréstimo são duros, embora nos últimos anos o Banco tenha oferecido termos cada vez mais suaves. A IDA oferece empréstimos "soft" principalmente para projetos que não produzirão rendas. Todavia,

o Banco Mundial e a IDA não seguem rigidamente esta linha rentável-não-rentável, podendo um único projeto ser financiado através de um empréstimo combinado do Banco Mundial e da IDA. Tanto o Banco Mundial como a IDA têm fundos de reserva não comprometidos que poderiam atender o projeto SACI.

O Banco Inter-Americano foi fundado em 1959 para promover investimentos na América Latina. Os fundos ordinários do Banco são utilizados para empréstimos realmente "hard". O Banco também administra um fundo para o desenvolvimento social que ele usa para empréstimos "soft" para fins de desenvolvimento. Como parte desses fundos de desenvolvimento, o Banco tem um "Social Progress Trust Fund" o qual foi organizado por contribuição pelos Estados Unidos sob a Aliança para o Progresso. O Banco ordinariamente emprega seus empréstimos "soft" para desenvolvimento social e para projetos de desenvolvimento que não produzirão rendas. Contudo, o Banco poderia possivelmente criar um empréstimo misto "hard-soft" para o sistema SACI uma vez que ele é parcialmente rentável e parcialmente não. Ordinariamente o Banco suprirá não mais do que 60% do capital requerido para um projeto.

Qualquer que seja a política de auxílio dos governos dos países desenvolvidos e das instituições internacionais de ajuda, algum financiamento seria possivelmente obtido de fundações particulares. Duas fundações americanas, a Fundação Ford e a Corporação Carnegie tiveram grande interesse no estabelecimento de um sistema educacional por satélite para os Estados Unidos. A Ford propôs a criação da "Broadcasters Non-Profit Satellite Corporation" para lançar e operar todas as facilidades do satélite para televisão doméstica nos Estados Unidos. Esta corporação usaria as economias da transmissão por satélite para financiar programas de televisão educacional e torná-los isen-

tos de taxas. A Ford advogou a criação de tal corporação perante a Comissão Federal de Comunicações e o Congresso. A Carnegie sugeriu uma pequena taxa adicional na venda de aparelhos de televisão educacional. Devido a este grande interesse no desenvolvimento da televisão educacional nos Estados Unidos, essas fundações poderiam possivelmente ser persuadidas a contribuir com alguns fundos para o estabelecimento de um sistema de televisão educacional no Brasil.

2.5.5 Propostas Financeiras

Apenas uma parte relativamente pequena do sistema brasileiro deveria ser comprada no exterior. Qualquer que seja a assistência estrangeira que possa ser necessária, ela seria possivelmente obtida dos Estados Unidos na forma de assistência bilateral. Em 1961, o Presidente Kennedy anunciou que os Estados Unidos estavam embarcando num programa da "Aliança para o Progresso" para a América Latina com grandes aumentos na ajuda prometida aos países da América Latina. Essa política continua até o presente. Em 1966, a AID negociou um empréstimo "soft" de \$150 milhões para o Brasil, para ser usado parcialmente para telecomunicações e educação. O prazo de pagamento do empréstimo é de 40 anos, estando incluído um período livre de 10 anos durante o qual o juro será de 1,5%. Depois desse período de 10 anos, o juro aumentará para 2,5%. A AID também prometeu outros \$100 milhões para o futuro. Em 1967, o Presidente Johnson mostrou um interesse ainda maior, por parte dos Estados Unidos, no desenvolvimento da América Latina. No futuro uma ajuda maior dos Estados Unidos deve estar disponível para a América Latina. Se os fundos de

empréstimo dos Estados Unidos forem insuficientes para esse projeto, o Banco Interamericano poderia possivelmente destacar parte de seus fundos para o pro projeto embora os termos de empréstimo da AID sejam geralmente mais favoráveis que os do Banco Interamericano.

Em resumo, os prospectos de financiamento do projeto brasileiro parecem promissores. Se aprovado, o Brasil deve iniciar logo que possível planos para a construção do sistema. O Brasil deve aproximar-se do "Interim Committee" do Intelsat para afastar as exigências do Intelsat, se é que alguma existe, com respeito à exclusividade de construir o segmento espacial para os sistemas de satélite doméstico. Esses contatos evitarão que sejam levantadas acusações con tra os países que venham ajudar a construção e o lançamento do satélite.

REFERÊNCIAS

1. Agreement Establishing Interim Arrangements for a Global Commercial Communications Satellite System, 2 U.S.T. & O.I.A. 1705, TIAS Nº 5646, 20 de agosto de 1964.
2. American Management Association, "Financing International Operations: A Guide to Sources and Methods," 1965.
3. A. Chayes e T. Ehrlich, "International Legal Process", unpublished materials, 1966.
4. R. Colino, "International Satellite Communications: A Case Study," American Astronautical Society Pub., fevereiro 1966.
5. The Communications Satellite Act of 1962, 47, U.S.C. 701-44, 1964.
6. W. Friedman, G. Kalmanoff, e R. Meagher, International Financial Aid, Columbia University Press, 1966.
7. Hearings Before the House Committee on Government Operations on Government Use of Satellite Communications, 89th Congress, 2nd Session, 1966.

8. *Hearing Before the House Committee on Foreign Affairs on the Foreign Assistance Act of 1966, 89th Congress, 2nd Session, 1966.*
9. *International Monetary Fund, International Financial Statistics, XX Maio de 1967.*
10. *Report on a Study by Senator Gruening to the Senate Committee on Government Operations, United States Foreign Aid in Ten Middle Eastern Countries and African Countries, 88th Congress, 1st Session, 1963.*
11. *United Nations, Economic Survey of Asia and the Far East: 1965, 1966.*

PROJETO SACI

Satélite
Avançado de
Comunicações
Interdisciplinares

Parte II:

Relatório Técnico LAEE-75

- Sistema de Terra
- Projeto do Satélite

PR - Conselho Nacional de Pesquisas
Comissão Nacional de Atividades Espaciais
São José dos Campos - SP

Maio 68

PROJETO SACI

NOTA

O presente relatório, resultante da fase de pré-projeto, foi dividido em três partes, todas com a mesma introdução. Foi preparado, tomando por base inúmeras referências, mas principalmente o "ASCEND Report" da Universidade de Stanford nos Estados Unidos, pelos seguintes pesquisadores da CNAE:

Dr. F. de Mendonça

Almte. A. S. Franco

Eng. A. Schechtman

Eng. J. E. Guisard Ferraz

Eng. J. Torquato P. de Sousa

Eng. J. Mesquita

São José dos Campos

Maio de 1968

PROJETO SACI

Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares

INTRODUÇÃO

É ponto pacífico que o presente sistema educacional brasileiro é inadequado, em qualidade e quantidade em todos os níveis, para o desenvolvimento nacional.

A aplicação de capitais através de processos e métodos ortodoxos, para incrementar o sistema existente, além da impossibilidade econômica, muito dificilmente poderia colocar o Brasil na posição desejada nos próximos cinco ou dez anos. Um dos itens mais sérios no contexto deste complexo problema é a formação demorada de bons professores e a impossibilidade de se atingir todos os pontos do país com a mesma qualidade de ensino.

O sistema que aqui propomos não é a solução total, não é simples de ser implementado mas está dentro das possibilidades econômicas e tecnológicas do país. É quase a única solução educacional em países não desenvolvidos de áreas continentais como é o caso do Brasil. O sistema proposto não se aplica a nações desenvolvidas.

A situação educacional brasileira é pior do que se poderia deduzir dos números apresentados na Tabela I que se segue, pois a nossa população é na maioria constituída de jovens.

TABELA I

(Dados disponíveis mais recentes)

País	População estimada em milhões de habitantes	Educação primária, secundária e vocacional				Educação Universitária			Porcentagem de analfabetos com idade superior a 14 anos
		Professores	Alunos		Professores	Alunos			
			total	Obs. I		total	Obs. I		
Brasil	85	440 000	11 246 000	132	28.000	142 000	2	40%	
Argentina	22	217 000	3 138 000	142	14 000	216 000	10	8.6%	
Japão	98	755 000	21 286 000	220	68 000	964 000	10	Obs II	
U.S.A.	198	2 024 000	59 703 000	250	326 000	4 265 000	22	2.4%	
U.S.S.R.	231	2 571 000	49 926 000	216	206 000	3 608 000	16	1.5%	

Obs. I Número arredondado de alunos por mil habitantes da população total

Obs. II Dado não disponível

Este relatório tem um caráter preliminar pois fôra feito na fase de pré-projeto e servirá como um documento gerador de discussões. É constituído de duas partes; a primeira aborda problemas e conjecturas sobre o uso de satélites em sistemas educacionais e uso e custo de telecomunicações numa nação em desenvolvimento; a segunda parte tem a haver com os sistemas de solo e espacial do projeto. Haverá ainda um apêndice.

Espera-se que este documento sirva de base na decisão da Presidência da República sobre a complementação ou não do sistema proposto.

Um grande número de referências foi consultado, mas a obra que serviu de base a este trabalho foi principalmente o "ASCEND Report" do curso de engenharia de Sistemas Espaciais na Universidade de Stanford nos Estados Unidos. De fato este relatório é uma adaptação. Três pesquisadores da CNAE participaram nos estudos e preparação do "ASCEND Report".

OBJETIVOS

O desenvolvimento de sistemas de telecomunicações educacionais num país como o Brasil é um primeiro passo essencial na constituição de sua infraestrutura. Uma vez que se tenha feito este investimento a produtividade marginal do capital investido nos projetos de industrialização será por demais aumentada. Com isto o país poderá atingir uma posição que lhe permita quebrar o círculo vicioso de pobreza que até o momento lhe sufoca.

Depois de considerarmos várias alternativas, cremos que o projeto aqui proposto oferece a melhor probabilidade de sucesso a uma nação de extensões continentais como a nossa.² É verdadeiramente, um passo decisivo nos seus programas educacionais e de telecomunicações.

Os fatores abaixo enumerados indicam a escolha do sistema com satélites para televisão educacional e comunicações como o mais adequado:

No campo educacional:

- a - A televisão permite a disponibilidade dos melhores professores para a maioria da população, mesmo nos mais longínquos recantos do país.
- b - A televisão pode ser usada como fonte de informações e ponto focal para o desenvolvimento da comunidade.
- c - A televisão pode ser usada dentro do quadro do sistema de ensino já existente, se bem que os problemas de reajustes dos professores aos novos métodos não deve ser subestimado.
- d - O satélite é o meio menos dispendioso de atingir o objetivo numa implementação relativamente rápida, da ordem de 5 anos.

No campo das comunicações:

- a - O sistema com satélite é o menos dispendioso dos métodos que permitem atingir qualquer lugar do país, como por exemplo as vilas e destacamentos nas fronteiras.
- b - Em alguns casos é o único meio de se prover comunicações de alta confiabilidade.
- c - O sistema proposto apresenta a solução de mais curto tempo para instalação de comunicações em âmbito nacional.

- d - A parte do satélite dedicada a comunicações poderia prover uma razoável fonte de renda.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Educação

O sistema proposto consiste no uso de um satélite de alta potência em órbita síncrona, com 3 canais, transmitindo na faixa de frequências de 4 GHz. Nas áreas urbanas usariamos um receptor e um transmissor central para re-irradiação, em áreas com raio de 70 km. Para as áreas rurais e pequenas vilas ou cidades, os receptores receberiam as informações diretamente do sa télite. Um exame das condições de prêço, mostram que em áreas urbanas com 220 mil pessoas ou mais, seria mais conveniente o uso de um receptor-transmísor local para televisões, usando aparelhos convencionais de televisão. Nas outras áreas, como já dissemos, o sinal seria obtido diretamente do satélite.

A estimativa do número de estações receptoras seria da ordem de 152 mil aparelhos receptores diretos, e 12 receptores/transmissores para â reas urbanas. Estes números permitem, a cobertura total da população em ida de escolar. Supõe-se que de início, um dos canais de televisão, será usado exclusivamente para televisão educacional (TVE), isto por um período de 2 a nos. Um segundo canal passaria para uso de TV, depois dêste prazo. Esta li mitação de um canal prende-se ao fato de ser difícil de se produzir adequada quantidade de programas, de boa qualidade. A duplicação de material didâ tico importado, sistemas de TV educacional de outros países, seria possívelmente uma solução insatisfatória. É possível termos uma injeção maciça de e

ducação por televisão em todas as áreas educacionais, isto é, escolas primárias, secundárias, vocacionais e universidades, incluindo o treinamento e aperfeiçoamento de professores e instrutores nas novas técnicas. A tecnologia existente é certamente capaz de preencher os pré-requisitos, no entanto, o ponto crucial do esquema é o seu conteúdo; o aprendizado será muito mais efetivo se a qualidade do programa, os textos, os impressos, os auxílios audio-visuais de ensino e a comunicação entre planejadores e instrutores nas salas de aulas fôr devidamente estabelecida com bases funcionais.

Processo de ensinamento através de televisão não é meramente uma extensão das aulas normais dadas em salas de aulas. No entanto, este novo meio requer uma orientação completamente diferente dos processos de ensino e aprendizado. As escolas terão que ser ajustadas com as suas experiências passadas ao nôvel modo, e em muitos casos, livros e textos terão que ser re-escritos e distribuídos o que tomará uma quantidade considerável de tempo. O projeto deve ser iniciado em uma escala pequena, e seguido de uma avaliação dos conhecimentos iniciais obtidos. Seria onerosa a introdução de uma estrutura gigante e que logo no início venha a precisar de modificações e ajustes gerais. O sistema proposto tem o seu sucesso dependente nas atitudes do peçoal envolvido e suas limitações iniciais. Treinamentos e orientação dessas pessoas serão fatôres limitantes da capacidade operacional do sistema.

No caso de escolas primárias, controladas pelos estados, certamente é de se esperar que haja resistências no início, dificuldades administrativas e outras coisas d'este jaez. As escolas federais, controladas curricularmente pelo governo federal talvez a situação já não fôsse tão difícil.

Poderia se pensar também na preparação, nesta fase inicial, de instrutores e elementos de apoio em treinamento para a fase seguinte de estabelecimento de programas mais avançados. Poderia se pensar também nesta fase inicial, do uso de comunicações para instruções à elementos da agricultura, la vradores, elementos de escolas vocacionais, etc. Dentro do período de dois anos, o segundo canal passaria a ser utilizado em meios educacionais. Certa mente, jã de início ou antes mesmo de qualquer outra medida poderíamos pen sar em uma escala de prioridades a serem dadas aos usos d'êstes canais. Serã necessário um estudo mais acurado destas prioridades, para que haja maior sucesso no programa. Devemos pensar, por exemplo, em educação de adultos, que poderia ser em horário noturno. A educação de adultos poderia ser feita em programas diretos às áreas rurais. Poderiam haver programas sôbre atos cívicos, educação, escolas vocacionais ou técnicas, isto tudo dependeria de prioridade a ser estudada na primeira fase de implementação do projeto.

Comunicações

O satélite proposto teria um canal com a largura de faixa de 200 MHz permanentemente designado para uso de comunicações. A capacidade d'êste canal é da ordem de 3 mil sub-canais de fonia. O uso primário d'êste canal seria provêr comunicações telefônicas de boa qualidade e alta confiabilidade entre pontos grandemente afastados. Considerando os processos normais de taxaço telefônica, que sempre dependem de distância envolvida entre os dois assinantes, aqui teríamos um caso em que a distância não faria diferença praticamente no preço da comunicação entre os dois terminais.

Durante os dois primeiros anos em que teríamos somente um canal em televisão educacional, poderíamos usar o segundo canal para comunicações de distância menores.

Espera-se que um sistema de televisão educacional através de canais de micro-ondas, na superfície seja estabelecido neste interim de dois anos iniciais, ou mesmo antes da implementação dos dois anos de utilização de sa télites para provêr a experiência adequada ao planejamento da utilização de televisão educacional através do satélite.

Durante as horas noturnas, isto é, de meia noite às 8 horas da ma nhã, certamente não haveria demanda para comunicações telefônicas, ou uso de televisão educacional, fazendo nascer daí uma fonte de renda em se utili zando estes horários para transmissão de dados, de redes bancárias, por exemplo, ou distribuição de canais de televisão comercial para re-irradiação posterior, serviço fac-símile, serviço de telegramas normais, telegramas es ses acumulados nos horários diurnos em fita magnética. Outros exemplos se riam comunicações sobre meteorologia, comunicações militares com os postos de fronteiras, etc. Com aproximadamente mil terminais de comunicação tere mos uma cobertura de todas as cidades ou vilas com mais de três mil habitan tes, além dos sistemas múltiplos das áreas urbanas.

Estima-se que a renda adicional provinda do serviço telefônico da ria da ordem de cinquenta milhões de cruzeiros novos por ano líquido dos cus tos de operação, depreciação, manutenção e etc. Além de telefonia outros serviços contribuiriam para a renda.

EQUIPAMENTO NO SOLO

Broadcast Direto

O principal objetivo do sistema é a transmissão de programa de televisão educacional via satélite para a maioria da população. Do que fôra dito anteriormente, conclui-se que o objetivo sô poderia ser atingido com a utilização de irradiação direta (via satélite de alta potência) às estações de baixo custo, incluindo estações centrais de re-irradiação, para a aparelhos comuns de televisão em áreas urbanas. Estudos econômicos mostram que o custo mínimo do sistema proposto seria atingido se houvesse transmissão direta para 77 a 86% da população. Esta conclusão põe uma forte ênfase na minimização do custo da irradiação direta para receptores afastados das grandes áreas urbanas.

Devido às limitações práticas da geração de potência elétrica, num satélite em órbita, limitações estas que são atuais mas que poderão ser superadas na tecnologia de um futuro próximo, teremos que usar a modulação FM para o link satélite-Terra. Este tipo de modulação é incompatível com a televisão padronizada no Brasil; daí ser necessário um conversor-adaptador de modulação FM em AM antes do receptor regular de televisão. Problemas semelhantes são abordados em relatórios internos da CNAE.

Para as comunidades rurais, onde não existe potência elétrica uma variedade de tipos de fontes de potência foi considerada. Elas são classificadas em duas alternativas de acôrdio com seu custo. As alternativas mais

convenientes são: catavento com gerador, para certas regiões onde o vento so
pra constantemente, como é o caso do nordeste brasileiro, ou motor-gerador
a gasolina ou diesel. Haveria mesmo a possibilidade de se usar uma combina-
ção gerador-motor movido a potência animal. O custo de uma fonte de potência
para áreas remotas, fica entre 700 e 1.500 cruzeiros novos.

Comunicações

O segundo objetivo foi desenhar um sistema de comunicações bilate-
rais. No começo da vida do satélite, como já foi mencionado somente um ca
nal de televisão seria necessário. Durante o período que vai da meia noite
às oito horas da manhã, nenhum dos canais de televisão seriam usados. O sa
télite terá potência para três canais, independentes, transmitindo com 350
watts em cada.

Assim sendo durante o dia um ou dois terços da capacidade do satê-
lite estarão disponíveis para comunicações, transmissões de dados, fac-sími-
le ou redistribuição de programação comercial. Durante a noite 100% do satê-
lite será usado para este propósito.

A fim de que se possa fazer um uso eficiente desta capacidade, um
sistema de comunicações versáteis e de múltiplos propósitos será construído
no satélite. Várias alternativas foram estudadas e foi necessário se provêr
um meio de se transmitir vários canais de baixa potência com portadoras mo
duladas em frequência em vez de um simples canal, de alta potência para
transmissão de televisão. A capacidade total do satélite é de aproximadamen-
te 9.000 canais telefônicos em um sentido. O link de recepção para as comu

ficações serão mais sofisticadas do que o de recepção usado para a televisão educacional. Uma antena maior, talvez da ordem de 9 metros de diâmetro se rã usada com um amplificador paramétrico e um demodulador de fase locada. O sinal demodulado formará um canal de distribuição de televisão ou 600 canais telefônicos.

Telemetria e Contrôl

Os sistemas de telemetria e contrôl proverão a observação contínua dos vários parâmetros de contrôl do satélite e as capacidades de co mando a partir da estação no solo para várias manobras.

A potência necessária no satélite para fins de telemetria será de 1 watt de potência irradiada na frequência de 136 MHz com a faixa de passa gem de aproximadamente 10 KHz. Uma antena onidirecional de 1/4 de onda se rã usada no satélite para êste fim.

Pré-requisitos da Missão do Satélite

O satélite SACI deverá ser capaz de irradiar suficiente potência a fim de permitir a cobertura total do Brasil e de alguns outros países da A mérica Latina com imagens de boa qualidade em equipamento de baixo custo no solo. É necessário que o satélite tenha a capacidade de dois canais de tele visão educacional. Além disso precisa provêr comunicações bilaterais porque a renda dêste serviço auxiliaria o financiamento do sistema.

O satélite seria pôsto em órbita equatorial síncrona e operaria com vida útil confiável de cinco anos. A data de lançamento poderá ser dentro de

cinco anos depois da decisão governamental.

O satélite transmitirá em FM para os sinais de TVE e comunicações bilaterais na faixa de frequência de 3.7 a 4.2 MHz por exemplo. Capacidade de múltiplo acesso será também incluída. As técnicas serão descritas no relatório da CNAE.

Alguns componentes a serem usados no satélite ainda não existem presentemente. Um dos objetivos do grupo de engenheiros do projeto será a determinação de áreas específicas onde precisamos envidar esforços de desenvolvimento em futuro próximo para que haja mais uma contribuição tecnológica para a nação.

O desenho de estruturas do satélite poderá ser feito em um prazo de poucos meses.

Os desenhos das unidades de transmissão e recepção deverão provêr que o sistema no solo é tal que a potência efetiva irradiada seja de 55 dbw por canal.

O sistema transmissor deverá ser flexível e permitir operação com qualquer grau de liberdade nos dois modos; canal com TVE e canal com grande tráfego de comunicações. A alocação básica destes modos é função da hora local e das necessidades de operação. Por exemplo, dois canais de TVE e 3.000 canais de fonia durante o dia ou durante a noite com um canal de TVE e 6.000 canais ou ainda 9.000 de telefonia.

Haverá eclipse do satélite durante um mês por ano em um período de 0 a 69 minutos na meia noite local.

Finalizando, o relatório que se segue apresenta um sistema que certamente muito contribuiria para o desenvolvimento do Brasil. É possível em vista de considerações econômicas que não haja alternativa.

A CNAE se estrutura presentemente para poder executar esta missão. Torna-se imprescindível que em futuro próximo seja formado um grupo assessor do projeto, com representantes do Ministério da Educação, de órgão do Ministério de Comunicações tais como CONTEL e EMBRATEL e do Ministério do Planejamento e Coordenação Econômica.

ÍNDICE GERAL

PARTE I

	<u>Página</u>
CAPÍTULO I: SUMÁRIO	1-1
1.1 INTRODUÇÃO	1-1
1.2 BASES PARA UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E TELEVISÃO EDUCACIONAL (TVE) POR MEIO DE SATÉLITES.....	1-2
1.2.1 Educação	1-3
1.2.2 Comunicação	1-4
1.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	1-5
1.4 CONDIÇÕES E RECOMENDAÇÕES	1-6
1.4.1 Considerações Gerais	1-7
1.5 PROJETO DO EQUIPAMENTO PESADO	1-8
1.5.1 Considerações Gerais	1-8
1.5.2 Receptor de Terra	1-11
1.5.3 Projeto do Satélite	1-13
1.6 CUSTO DO SISTEMA	1-18
 CAPÍTULO II: USOS E CUSTOS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA NAÇÕES EM DE- SENVOLVIMENTO.....	 2-1
2.1 INTRODUÇÃO	2-1
2.2 INTRODUÇÃO À EDUCAÇÃO E AO SISTEMA DE TVE POR SATÉLITE	2-3
2.2.1 Integração nos Sistemas Educacionais Existentes	2-3

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
2.2.2 TVE em Diferentes Níveis Educacionais	2-17
2.2.3 Televisão Educacional no Planejamento Nacional	2-25
2.2.4 Potencial da Televisão para Educação e Desenvolvimento no Brasil	2-32
2.2.5 Elaboração dos Programas	2-47
2.2.6 Análise de Custo para o Sistema Educativo	2-61
2.3 USOS COMERCIAIS DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO	2-90
2.3.1 Introdução	2-90
2.3.2 Comunicações no Brasil	2-92
2.3.3 Custos de Componentes do Sistema	2-105
2.3.4 Custos dos Sistemas Alternativos	2-107
2.4 IMPLICAÇÕES LEGAIS INTERNACIONAIS	2-110
2.4.1 Necessidades dos Satélites de Comunicações	2-110
2.4.2 A ITU	2-111
2.4.3 Pesquisa	2-117
2.4.4 Seleção de Frequências	2-120
2.5 FINANCIAMENTO PARA O SISTEMA	2-126
2.5.1 Dólaras	2-126
2.5.2 Posições de Liquidez	2-127
2.5.3 Intelsat	2-132
2.5.4 Ajuda	2-138
2.5.5 Propostas Financeiras	2-142

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE II

	<u>Página</u>
CAPÍTULO III: SISTEMA TERRESTRE	3-1
3.1 INTRODUÇÃO	3-1
3.1.1 Sistema de TVE	3-1
3.1.2 Sistema de Comunicações	3-6
3.2 SINAIS E POTÊNCIA DE RF	3-7
3.2.1 Faixa Ótima de Frequência	3-7
3.2.2 Largura de Faixa	3-11
3.2.3 Métodos de Modulação	3-11
3.2.4 Distribuição de Potência	3-15
3.3 ANTENAS NO SOLO	3-28
3.3.1 Materiais e Técnicas de Produção	3-28
3.3.2 Projeto da Antena de TVE e Alimentação	3-40
3.4 PROJETO ELETRÔNICO DO CONVERSOR DE BAIXO CUSTO	3-49
3.4.1 Misturador	3-50
3.4.2 Oscilador Local	3-57
3.4.3 Amplificador de FI	3-60
3.4.4 Discriminador de Faixa Larga	3-75
3.5 FONTES DE ENERGIA NO SOLO	3-87
3.5.1 Necessidades de Potência	3-87
3.5.2 Métodos de Produção de Energia no Solo	3-88
3.5.3 Sumário	3-93

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
CAPÍTULO IV: PROJETO DO SATÉLITE	4-1
4.1 CONFIGURAÇÃO DO SATÉLITE	4-1
4.1.1 Introdução	4-1
4.1.2 Pêso do Satélite	4-2
4.1.3 Distribuição de Massa do Satélite e Momento de Inércia	4-3
4.1.4 Materiais Estruturais do Satélite	4-3
4.1.5 Projeto da Estrutura do Satélite	4-11
4.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES	4-15
4.2.1 Sinais	4-15
4.2.2 Níveis de Potência e Limitações Resultantes	4-16
4.2.3 Escolha da Válvula de Potência de Micro-ondas	4-17
4.2.4 Escolha da Configuração do Sistema de Comunicações ..	4-22
4.2.5 Maneira de Operação	4-30
4.3 SISTEMA DE ANTENA E DE ALIMENTAÇÃO	4-34
4.3.1 Avaliação dos Requisitos de Iluminação	4-34
4.3.2 Antena Receptora-Transmissora	4-36
4.3.3 Sistema Sensor de Atitude	4-43
4.3.4. Antena de Telemetria e Comando	4-46
4.3.5 Vista Geral do Sistema	4-48
4.3.6 Período de Desenvolvimento e Planos Futuros	4-52
4.4 FONTE DE ENERGIA DO SATÉLITE	4-53
4.4.1 Projeto Proposto: Paine Solar	4-54
4.4.2 Condicionamento de Potência	4-59

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
4.4.3 Subsistema Secundário da Energia Solar	4-61
4.4.4 Conclusão	4-62
4.5 PROJETO E CONTRÔLE TÉRMICO	4-63
4.5.1 Projeto Térmico Geral	4-63
4.5.2 Seção Superior	4-65
4.5.3 Cálculos Térmicos	4-76
4.5.4 Seção Inferior	4-80
4.5.5 Análise de Temperatura das Células Solares	4-85
4.6 TELEMETRIA E CONTRÔLE	4-88
4.6.1 Necessidades Gerais	4-88
4.6.2 Implementação do Sistema de Telemetria e de Comando.	4-89
4.7 CONTRÔLE DA NAVE ESPACIAL	4-92
4.7.1 Necessidades do Sistema	4-92
4.7.2 Contrôles de Atitude ao Redor do Eixo Longitudinal ..	4-95
4.7.3 Velocidade de Rotação da Seção Inferior	4-96
4.7.4 Contrôles de Atitude em Relação aos Eixos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-98
4.7.5 Conservação da Posição	4-106
4.8 LANÇAMENTO E ENTRADA EM ÓRBITA	4-112

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE III

Página

APÊNDICES:

A.	Projeto Estrutural	A-1
B.	Momentos Perturbadores que agem sobre o Satélite	B-1
C.	Contrôle por Gradiente da Gravidade	C-1
D.	Projeto do Sistema de Contrôle do Eixo Longitudinal	D-1
E.	Contrôle de Atitude com Dois Pulsos	E-1
F.	Sensores de Infra-vermelho para Posicionamento	F-1
G.	Antenas	G-1

LISTA DE TABELAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Número Estimado de Postos Receptores.....	1-6
1-2	Custos de Investimento de Capital	1-18
1-3	Custos de Operação	1-19
2-1	<i>Situação</i> Econômica Brasileira	2-34
2-2	Crescimento do Sistema Educacional Brasileiro	2-35
2-3	Canal Nº 1 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-52
2-4	Canal Nº 2 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-53
2-5	Custos de Transmissão e Produção para o Curso Secundário por Correspondência da NHK (Japão) 1964	2-55
2-6	Organograma da Estação	2-59
2-7	Custo de Pessoal	2-60
2-8	Modelo de Custo	2-63
2-9	Divisão Completa do Modelo de Custo	2-64
2-10	Custo de Pesquisa e Desenvolvimento do Satélite	2-67
2-11	Custo de Produção do Satélite	2-69
2-12	Pesquisa e Desenvolvimento dos Receptores Diretos	2-69
2-13	Custo de Produção dos Receptores Diretos	2-69
2-14	Custo do Conversor de Micro-ondas	2-71
2-15	Custo do Sistema SACI	2-75
2-16a	Parâmetros de Entrada	2-76
2-16b	Modelo de Custo do Sistema de TVE	2-77
2-16c	Modelo de Custo do Sistema de TVE (Continuação)	2-78

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
2-17	Implementação até 1980	2-81
2-18	Distribuição Proporcional dos Custos do Projeto SACT durante um Período de Dez Anos	2-84
2-19	Volume de Comunicações Internacionais no Brasil em 1965...	2-92
2-20	Necessidades de Divisas Estrangeiras no Custo Total do Sistema	2-128
2-21	Desembolso durante os Dez Anos de Implementação	2-129
2-22	Liquidez Internacional e Balança de Pagamento	2-131
3-1	Sistema de Recepção Direta	3-5
3-2	Necessidades de Potência para a Ligação Satélite-Terra para a TVE	3-18
3-3	Necessidade em Potência para a Ligação Satélite-Terra para Comunicações	3-22
3-4	Requisitos em Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão SSB)	3-24
3-5	Necessidades de Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão em FM)	3-25
3-6	Custos Estimados de Três Antenas	3-37
3-7	Parâmetros do Projeto	3-48
3-8	Características do Amplificador de FI	3-60
3-9	Custos Estimados dos Componentes e Unidades	3-74
3-10	Amplitude de Voltagem nas Entradas do Discriminador	3-78
4-1	Distribuição do Pêso do Satélite	4-8
4-2	Dados de Momento de Inércia e Centro de Gravidade para o Satélite SACT	4-9
4-3	Propriedades dos Materiais	4-10

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-4	Parâmetros da Válvula	4-19
4-5	Frequências do Oscilador Local na Ligação Satélite-Terra para o Módulo 1 do Receptor	4-31
4-6	Larguras de Feixe Corrigidas, Diâmetros da Abertura e Máximo Ganho Teórico	4-42
4-7	Perda Total Estimada da Saída do Amplificador a TWT para o Sinal Irrradiado	4-43
4-8	Principais Requisitos de Potência	4-54
4-9	Distribuição da Potência (em Watts) a ser irradiada pelos Tubos Contínuos de Calor nas Diferentes Condições de Trabalho	4-81
4-10	Propriedades Térmicas do Substrato LASCA.....	4-85

ILUSTRAÇÕES

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Espectro de Frequência para Comunicações	1-10
1-2	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	1-12
1-3	Vista Geral do Satélite	1-16
2-1	Realimentação para Implementação	2-13
2-2	Taxa de Instalação do Sistema	2-74
2-3	Custo de Operação Anual x Número Total de Receptores (2 canais de TVE)	2-79
2-4	Ruído de Fundo em Função da Frequência	2-121
3-1	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	3-4
3-2	Ruído Devido à Absorção Ionosférica	3-9
3-3	Custo Unitário dos Sistemas Receptores em Função da Frequência. Ruído Indígena Máximo	3-13
3-4	Alocações Espectrais para TVE e Comunicações	3-16
3-5	Qualidade de Imagem em Função da Relação Sinal-Ruído ..	3-19
3-6	Redução do Ruído de Intermodulação como Função do "Backoff" da Saturação	3-21
3-7	Curvas com Relação Portadora/Ruído Total Constante como Função das Relações Portadora/Intermodulação e Portadora/Ruído Térmico	3-21
3-8a	Corte do Refletor Plástico	3-31
3-8b	Antena com Alimentação Tipo Newtoniana	3-32
3-9	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 10 Antenas por Hora	3-35
3-10	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 60 Antenas por Hora	3-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-11	Pêso do Refletor em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-12	Custo do Material em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-13	Custo do Refletor em Função do Número de Antenas	3-38
3-14	Diâmetro da Antena em Função do Número de Antenas	3-38
3-15	Número de Antenas Versus Pêso Total	3-39
3-16	Número de Antenas Versus Tempo Total de Produção	3-39
3-17	Geometria do Refletor da Antena	3-42
3-18	Alimentação Cassegrainiana	3-44
3-19	Alimentação Newtoniana	3-46
3-20	Relação de Temperatura em Função de Frequência	3-51
3-21a	Detalhes da Cavidade Misturadora de Micro-Ondas	3-53
3-21b	Vista da Cavidade Misturadora	3-54
3-21c	Cavidade do Guia de Onda Misturador e o Discriminador ..	3-55
3-22	Esquema do Oscilador e do Multiplicador de Frequência ..	3-59
3-23	Diagrama de Bloco do Amplificador de FI	3-61
3-24	Espectro de Frequências em Micro-Ondas e FI	3-61
3-25	Diagrama Esquemático do Prê-Amplificador de Baixo Ruído.	3-64
3-26	Fator de Ruído do Prê-Amplificador-Misturador em Função de Fatos de Ruído do Prê-Amplificador de FI	3-65
3-27	Curvas de FR = 3db Constante para Amplificadores em Cas_ cata	3-66
3-28	Diagrama Esquemático do Amplificador FI de Canal Simples	3-70
3-29	Diagrama Esquemático do Circuito Integrado CA 3005	3-70
3-30	Circuito Típico de CAG	3-71

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-31	Variação do Preço do Circuito Integrado MC 1550G	3-71
3-32	Preço de Venda Média da Indústria Mundial	3-72
3-33	Circuito Limitador Típico	3-75
3-34	Desenho do Discriminador de "4 Entradas"	3-77
3-35	Esquema do Conector de 4 Entradas (a) e Diagrama de Fase da Voltagem no Detetor (b)	3-77
3-36	Voltagem de Saída do Detetor Quadrático como Função da Frequência (Normalizada); Mostrando as Possíveis Regiões de Operação	3-79
3-37	Tempo de Atrazo, Amplitude e Linearidade em Função de $f_c / \Delta f$ e de f_c para $\Delta f = 30$ MHz	3-81
3-38	Esquema de um Possível Detector	3-83
3-39	Gerador a Vento	3-90
3-40	Motor Gerador	3-91
4-1	Vista Geral do Satélite	4-4
4-2	Seção Superior do Satélite	4-5(6)
4-3	Seção Inferior do Satélite	4-7
4-4	Vista Geral do Satélite	4-14
4-5	Relação entre as Eficiências	4-23
4-6	Diagrama de Bloco do Sistema de Comunicações	4-25
4-7	Diagrama de Bloco para o Caminho do Sinal em um dos Canais de MHz	4-26
4-8	Diagrama de Bloco Alternativo para o Caminho de Sinal para um Canal de 30 MHz	4-27
4-9	Distribuição dos Canais do Receptor 1	4-31
4-10	Plano de Iluminação para o Brasil	4-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-11	Sistema da Antena Receptora-Transmissora	4-37
4-12	Posições de Elevação da Antena	4-38
4-13	Refletor Hiperbólico Função da Frequência	4-40
4-14	Um Combinador Híbrido Compacto com Baixa Perda por In- serção Constituído por Vários Filtros Passa-Faixas em Paralelo por Seção	4-44
4-15	Possíveis Configurações da Corneta de Alimentação	4-45
4-16	Sistema de Monopulso de Fase	4-47
4-17	Sistema Sensor de Atitude	4-48
4-18	Sistema da Antena de Telemetria	4-49
4-19	Sistema Completo da Antena	4-50
4-20	Sistema de Antenas e de Alimentação e sua Relação com o Total do Sistema	4-51
4-21	Vista Lateral do Painel Flexível Distendido	4-56
4-22	Vista do Tôpo do Painel Flexível Distendido	4-57
4-23	Unidade Conversora DC-DC	4-60
4-24	Condicionamento da Energia	4-61
4-25	Operação do Tubo de Calor	4-68
4-26	Taxas Teóricas Máximas de Transferência de Calor para Tubo Cilíndrico	4-69
4-27	Válvula de Potência de Vídeo.....	4-71
4-28	Válvula de Potência de Comunicação	4-71
4-29	Projeto Térmico da Seção Superior	4-74
4-30	Espessura da Folha de Alumínio como Função do Produto Área da Superfície x Tempo de Vida Requerido, para Vá- rias Probabilidades de Nenhuma Picada de Meteoróide	4-75

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-31	Temperaturas no Estado Quiescente Durante a Noite e o Dia Terrestres.....	4-78
4-32	Comportamento Transitório de Temperatura para Eficiências da Válvula de Comunicação	4-80
4-33	Operação das Persianas	4-84
4-34	Diagrama de Bloco do Sistema de Telemetria	4-91
4-35	Diagrama de Blocos do Sistema de Comando	4-92
4-36	Massa do Sistema em Função do Tempo de Operação	4-95
4-37	Configuração para os Sensores de Tempo e Jatos	4-99
4-38	Correção de Alinhamento por Dois Pulsos	4-100
4-39	Definição dos Ângulos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-101
4-40	Saída dos Sensores de Horizonte	4-102
4-41	Transformação do Erro	4-102
4-42	Sistema de Controle de Velocidade de Rotação	4-103
4-43	Sistema de Controle de Atitude para o Satélite SACT	4-105
4-44	Localização dos Jatos e dos Sensores	4-107
4-45	Procedimento para Orientação	4-113
4-46	Diagrama da Órbita de Transferência	4-114
B-1	Sistema de Referência Ligado ao Corpo do Satélite	B-3
C-1	Modelo Simplificado de Gradiente de Gravidade	C-1
D-1	Diagrama do Satélite Ilustrando os Momentos de Inércia em relação ao Eixo Principal	D-4
D-2	Circuito Elétrico Equivalente para o Satélite	D-5

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
D-3	Geometria (a) do Erro de Posição da Antena e (b) do Erro de Posição dos Painéis Solares	D-9
D-4	Diagrama de Blocos do Sistema de Contrôlo do Pannel Solar e da Antena	D-13
F-1	Radiação Térmica Direta e Radiação Solar Refletida Difusamente	F-3
F-2	Efeito dos Filtros de Germânio usados para deixar passar a Radiação Direta emitida pela Terra e para Bloquear a Radiação Solar não Desejável	F-3
G-1	Relação de Ganho para a Antena Corneta	G-2
G-2	Ganho de uma Antena Parabólica em Função do Diâmetro	G-6
G-3	Efeito dos Erros Randômicos devido às Tolerâncias do Acabamento da Superfície	G-7
G-4	Efeito da Deflexão da Antena no Ganho	G-8
G-5	Eficiência Versus Iluminação da Borda do Refletor	G-11

Capítulo III

SISTEMA TERRESTRE

3.1 INTRODUÇÃO

3.1.1 Sistema de TVE

O objetivo principal do projeto SACI é a transmissão de programas e ducacionais de televisão para a grande maioria da população do país. É desde logo, evidente que tal objetivo só será alcançado pela transmissão direta de um satélite de alta potência para estações terrestres de baixo custo, e, pe la retransmissão, ao mesmo tempo, de programas do satélite por uma estação central para receptores comuns de TVE. Estudos econômicos mostram que cêrca de 77% a 86% da população necessitaria de transmissão direta para um sistema de televisão educacional econômico. Esta conclusão dá grande realce à minimização do custo do sistema de recepção direta no solo.

Devido à limitações práticas na geração de energia elétrica num satélite em órbita, foi escolhida a modulação FM para a ligação satélite-terra. Este tipo de modulação é incompatível com os receptores corriqueiros de TV, e assim é necessário um adaptador para converter a modulação FM em AM.

Foi escolhida para a ligação satélite-terra a faixa de frequências em tórno de 4 GHz. Um adaptador de microondas transferirá a frequência desta faixa para a faixa de UHF ou VHF.

As especificações de projeto para o adaptador para recepção direta são as seguintes:

Entrada	portadora em microondas modulada em frequên <u>cia</u>
Largura de Faixa	60 MHz (largura de faixa efetiva para um ca <u>nal</u> de TVE; 30 MHz)
Fator de Ruído	7 dB máximo
Saída	Portadora VHF modulada em amplitude (Standard)

Dois tipos de sistemas foram considerados: um pré-amplificador de microondas seguido por um demodulador; e um misturador de entrada seguido por um estágio de FI e um demodulador. Baseado em considerações de custo, o segundo sistema foi julgado mais apropriado para o projeto de um adaptador barato.

A figura 3.1 é um diagrama de blocos ilustrando a configuração final do adaptador de microondas. O misturador de entrada transfere a frequência da portadora para a faixa de VHF. O pré-amplificador de baixo nível de ruído apresenta um fator de ruído conjuntamente com o do misturador e o do amplificador inferior a 7 dB.

Em seguida ao pré-amplificador de baixo ruído temos dois canais que são diferem entre si pela frequência central de operação.

O estágio de FI fornece a seletividade necessária para separar os dois canais de TVE, cuja largura de faixa efetiva é de 30 MHz e cujo ganho de potência é de 50 dB. O demodulador é um limitador seguido por um discriminador. O discriminador tipo linha de transmissão tem boa linearidade so

bre uma largura de faixa de 30 MHz. O propósito dos misturadores de saída em cada canal é de transferir a frequência dos sinais de vídeo para a faixa normal de VHF. O adaptador produz dois canais padrões de TV que alimentam, por cabo, um ou vários aparelhos de TV dentro de uma escola.

A antena receptora será um parabolóide. Os dois tipos de alimentação considerados foram: Newtoniano e Cassegrainiano. O último foi julgado mais conveniente para este sistema, apesar de sua construção ser algo mais complexa.

A dimensão da antena variará de 2 metros para as estações centrais a 2,5 metros para as áreas marginais. As antenas de metal expandido por prensas de metal laminado serão produzidas em grande escala. Seu custo varia de US\$ 20 a US\$ 60, dependendo do diâmetro e do custo da mão de obra local.

Para comunidades rurais onde não existe energia elétrica, foram considerados diversos tipos de fontes de energia. As alternativas mais convenientes são:

Fôrça do vento	Catavento com gerador
Motor-gerador	Combinação motor-gerador a gasolina
Termo-elétrica	Pequenos geradores a gás.

O custo de uma fonte de potência para áreas remotas variará entre US\$ 35 e US\$ 200, dependendo do tipo usado.

A tabela 3.1 esboça as características principais do sistema de recepção direta.

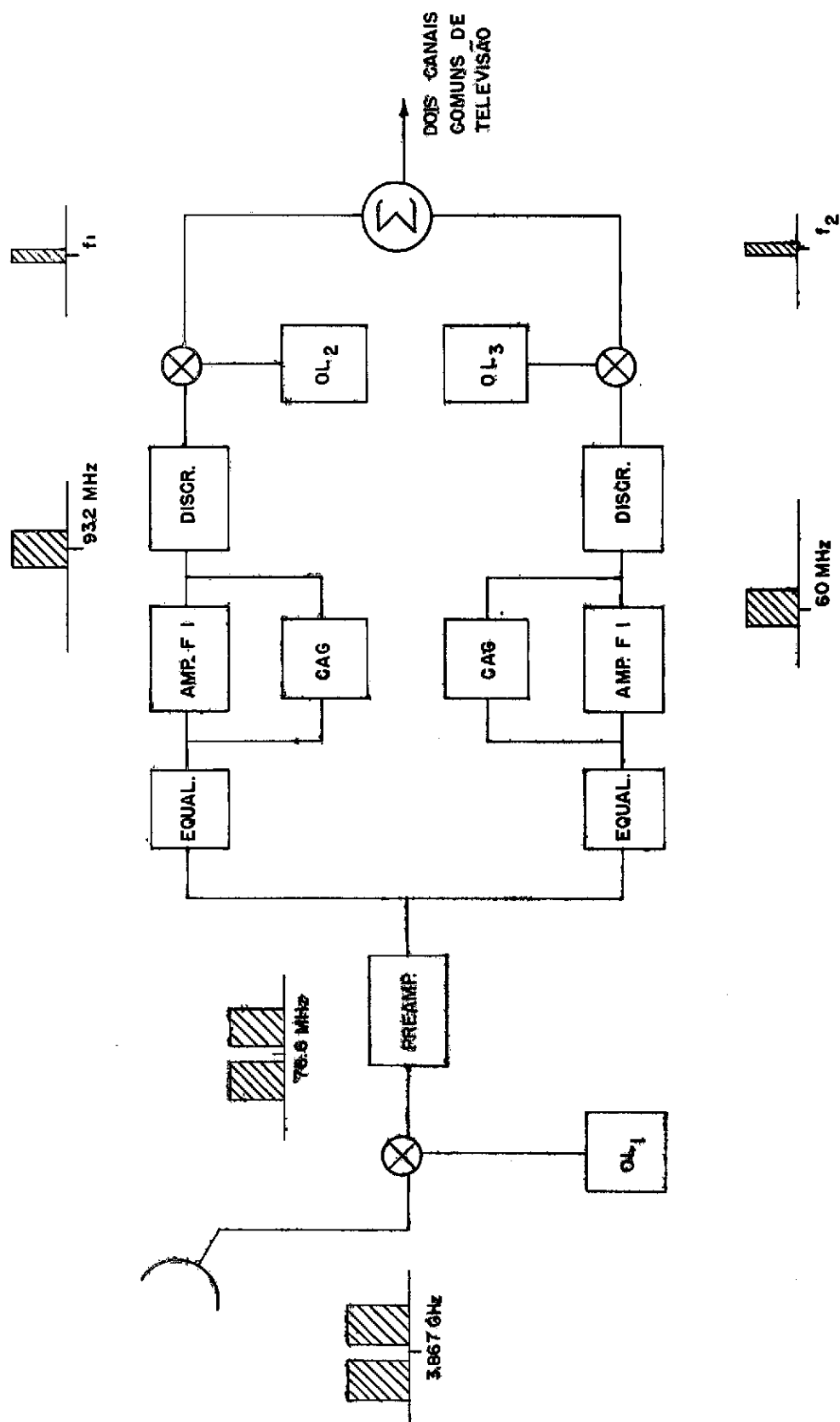


Fig. 3-1. DIAGRAMA DE BLOCOS DO ADAPTADOR DE MICROONDAS

Tabela 3.1

SISTEMA DE RECEPÇÃO DIRETA

Unidades	Especificações	Custo US\$
Antena	Parabólica tipo Cassegrain com 50% de eficiência Diâmetro 2 m 2,5 m	18,00 26.00
Misturador	Misturador com um diodo usando diodo de portadora ativa HP2305 Fator de ruído 7 dB máxima (Para $NF_{FI} = 3dB \text{ max}$)	25.00
Oscilador local de Microondas	Oscilador a transistor na faixa de 0,5 a 16 GHz seguido por um diodo de recuperação de degrau, Saída de potência em microondas: 2 mW. Estabilidade em frequência 1 parte em 100	40.00
Amplificador de FI	Exceto no estágio de entrada são usados transistores de baixo custo e circuitos integrados. Fator de Ruído 3 dB (máximo) Largura de faixa 30 MHz/canal Ganho de Potência 50 dB/canal Frequências centrais: Canal 1 60 MHz Canal 2 93,2 MHz	68,68
Discriminador de faixa longa	Contém somente um cabo coaxial, um conector de quatro partes e um detector. Largura de faixa: 30 MHz	4.00
Fonte de Potência para a estação no solo (para uso em áreas remotas onde não existe eletricidade)	Catavento Motor-gerador (30 watts)	125.00 60.00 + 64/ano

3.1.2 Sistemas de Comunicações

O segundo objetivo do projeto consiste em um sistema de comunicações nos dois sentidos. No período inicial somente um canal de TVE será necessário mas depois de aproximadamente dois anos, será necessário o uso de dois canais de TVE. Durante o período noturno, de meia noite até 8 horas nenhum dos canais de TVE será usado.

O satélite fornece potência suficiente para três transmissores independentes de 350 watts cada, suficiente para a transmissão de TV em FM com finalidade educativa, para estações no solo com antenas parabólicas de 2 a 2,5 metros e um receptor com um fator de ruído de 7 dB.

Durante o dia, um ou dois terços da capacidade do satélite estará disponível para comunicações, transmissão de dados, fac-símile, e redistribuição de TV comercial. Durante a noite, toda a potência do satélite pode ser usada para estes propósitos.

Para fazer uso eficiente desta capacidade, o satélite é provido de um sistema de comunicações versátil, destinado a vários fins. Diversas alternativas foram estudadas e julgou-se necessário fornecer meios de transmitir diversas portadoras moduladas em frequência, de baixa potência em lugar de uma portadora simples de alta potência usada para a transmissão de TVE.

Cada transmissor de 350 watts, no satélite, é capaz de trabalhar com 166 MHz de largura de faixa, permitindo transmitir 5 canais de 30 MHz de largura de faixa. Como cada um destes cinco canais pode conter aproximadamente 600 canais telefônicos em um sentido, a capacidade de cada transmissor é de 3000

canais telefônicos em um sentido, ou cinco canais de TV de baixa potência, ou qualquer combinação de ambos. A capacidade total do satélite é de aproximadamente 9000 canais telefônicos em um sentido.

O satélite terá capacidade para translação de frequência e múltiplo acesso. Ligações fixas de alta capacidade, constituídas por 600 sub-canais de fonia usarão FM/FDM na ligação terra-satélite o que reduz a alta potência necessária aos transmissores no solo. Estações menores e aquelas que necessitem acesso múltiplo usarão AM/SSB/FDM de alta potência na ligação terra-satélite e permitirão que o satélite reúna essas transmissões nos 600 canais de sinais de FM para a ligação satélite-terra. Cinco portadoras reunidas em FM, com 600 canais telefônicos cada uma, serão transmitidas por cada transmissor do satélite. Para cinco canais o ruído de inter-modulação não é excessivo.

Os sistemas de recepção na ligação satélite-terra, para comunicações, serão mais sofisticados que os sistemas receptores usados para a TVE. Suas antenas serão maiores, com 8 metros de diâmetro, e terão um amplificador paramétrico e um demodulador de fase coerente capaz de demodular uma largura de faixa de 30 MHz. O sinal demodulado formará um canal de distribuição de TV ou 600 canais de telefone.

3.2 SINAIS E POTÊNCIA DE RF

3.2.1 Faixa Ótima de Frequência

Para um satélite ativo, a perda na transmissão entre este e a terra é independente da frequência quando são usadas no satélite antenas com

certa largura de feixe, isto é, com ganho fixo e quando se usam no solo antenas com determinadas dimensões. Segundo essas hipóteses, a potência requerida no satélite para transmissão com desejada relação sinal-ruído, é determinada principalmente pelo ruído de rádio captado pela antena receptora na estação no solo, desde que o ruído inerente ao receptor seja suficientemente baixo.

O nível do ruído de rádio pode ser convenientemente expresso pela temperatura de ruído efetiva captada pela antena receptora no solo (Fig. 3.2). Para frequência acima de aproximadamente 10 GHz, o ruído devido à absorção na atmosfera torna-se significativo para ângulos de elevação maiores que 50° (medido a partir da vertical). A temperatura de ruído, na ausência de chuvas e nuvens, pode ser reduzida ao baixo nível de 50°K , para ângulos de elevação inferiores a 5° . Isto é conseguido associando um receptor de baixo ruído e usando uma antena cuja contribuição para esse ruído seja baixa, minimizando o ruído proveniente do solo, captado através dos lobos menores do diagrama da radiação da antena. A absorção e a temperatura de ruído devido à chuva e nuvens sobem rapidamente com a frequência, os acréscimos devidos somente à chuva são da ordem de 0,3 dB e 25°K a 4 GHz, e 4,0 dB e 150°K a 10GHz para um dia típico. Apesar de tudo, chega-se à conclusão que a faixa ótima de frequência, para a ligação satélite-terra, está situada entre 2 e 7 GHz; no caso de uma trajetória menos crítica entre a terra e o satélite, seria satisfatória uma faixa maior, de 1 a 10 GHz.

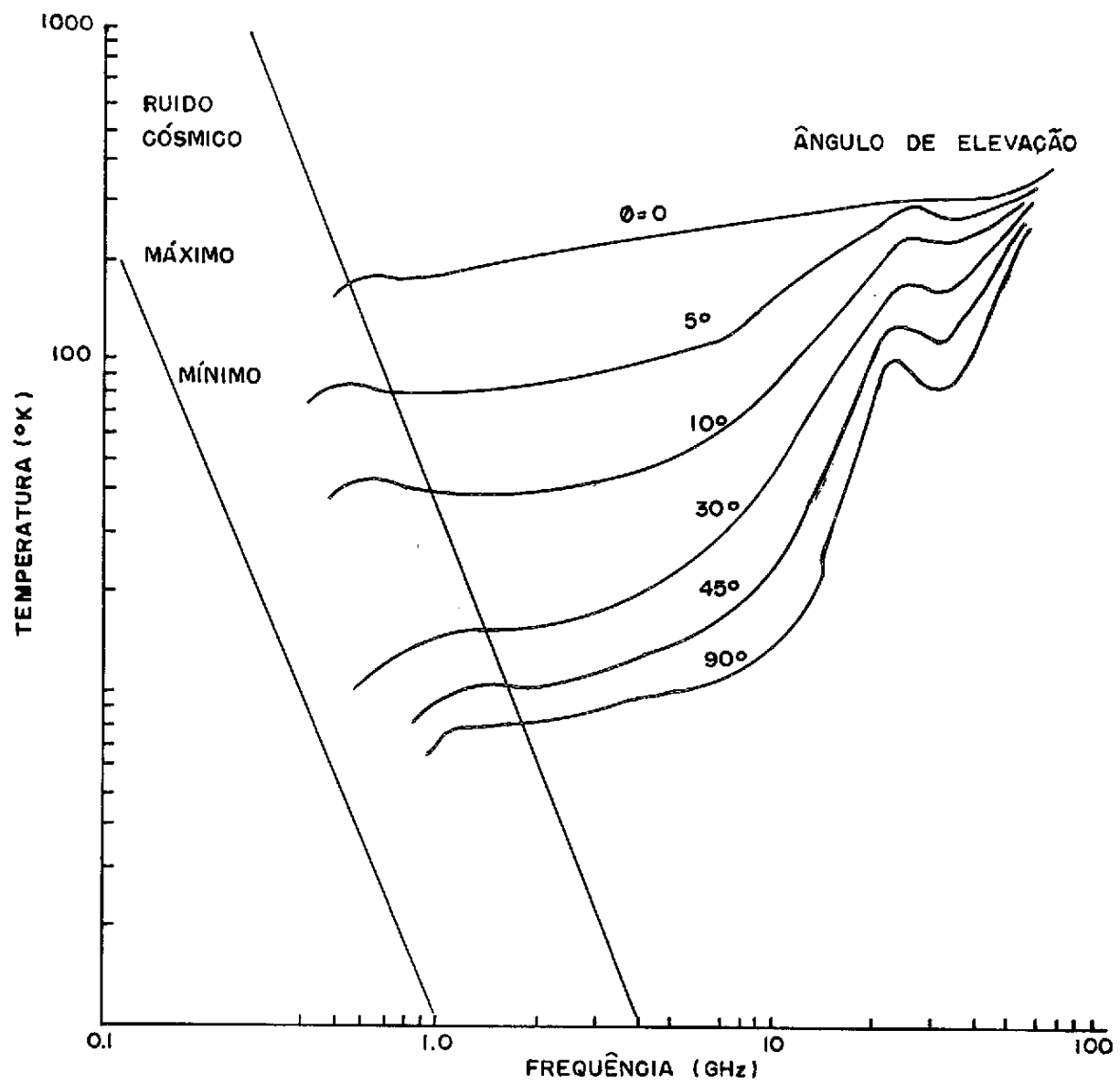


Fig. 3-2 RUIDO DEVIDO À ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA

O CCIR em sua Décima Assemblêia Plenária considerou o problema de achar um espaço de frequências para os satélites de comunicações e confirmou que a faixa ótima de frequência é de 1 a 10 GHz (3). Esta faixa já está em uso para vários serviços de rádio, alguns dos quais (p. e., radar de alta potência e sistemas que usam espalhamento troposférico) seriam incompatíveis com sistemas de satélites. Na Conferência Administrativa de Radio em Genebra, em 1959, foi designada a faixa de 1 a 10 GHz principalmente para serviços não espaciais com apenas as poucas alocações de faixas estreitas que se seguem:

1,427 - 1,429	5,670 - 5,725
1,525 - 1,540	5,925 - 6,925
1,700 - 1,710	7,250 - 7,300
2,290 - 2,300	7,300 - 7,750
3,400 - 4,200	7,900 - 7,975
5,250 - 5,255	7,975 - 8,025
	8,025 - 8,850

Para o nosso projeto, a faixa de 3,4 - 4,2 GHz foi selecionada para a ligação satélite-terra, e a faixa de 5,9-6,9 GHz para a ligação terra-satélite.

Deve-se entretanto ressaltar a possibilidade de se usar uma outra faixa de frequências, existindo um relatório da Atlantic Research (5), o qual conclue que as frequências mais econômicas para a recepção de televisão de um satélite síncrono estão ao redor de 1 GHz. Isto, no entanto, implicaria numa diminuição da faixa utilizável. Do citado relatório transcrevemos a Fig. 3-3 que mostra o custo unitário do sistema receptor em função da frequência de operação.

3.2.2 Largura de Faixa:

Para sistemas Terra-satélite com televisão monocrática, o CCIR recomenda que:

- ... no circuito hipotético de referência para sistema de comunicação ativa por satélite o limite superior nominal da largura de faixa de vídeo deve ser 5 MHz (largura de faixa de ruído equivalente); a relação do sinal/ruído ponderado para ruído contínuo aleatório no final do circuito hipotético de referência deve ser no mínimo 55 dB para 99% do tempo (1,2).

A relação sinal-ruído supramencionada é a relação entre a amplitude pico a pico da figura, excluindo os pulsos de sincronismo e a amplitude r.m.s. do ruído na faixa entre 10 KHz e o limite superior nominal da faixa de vídeo, medido com uma pré-determinada rede de ponderação e um instrumento tendo uma constante de tempo de 1 segundo.

A largura de faixa de vídeo de 5 MHz seria conveniente para a retransmissão de sinais de televisão com 405, 525 e 625 linhas. Uma faixa algo maior de 5,5 MHz, permitiria transmissão de sinais de televisão a cores até 625 linhas.

3.2.3 Métodos de Modulação

Para a trajetória terra-satélite a escolha da modulação depende da necessidade de:

1. Prover acesso múltiplo a satélites individuais por um conjunto de estações terrestres de baixa capacidade e algumas de alta capacidade.

2. Conservar as potências dos transmissores das estações terrestres dentro de limites econômicos aceitáveis.
3. Evitar interferência na recepção em estações retransmissoras de rádio na mesma área e que compartilham as mesmas faixas de frequências.
4. Evitar interferência com o próprio sistema do satélite ambos em condições normais de operação, e evitar, ao máximo, o eventual mau funcionamento de alguma estação no solo.

Para o percurso satélite-terra, o esquema de modulação, deve obedecer às seguintes considerações:

1. A necessidade de se obter a máxima relação sinal-ruído para um sinal com potência fixa.
2. A necessidade de conservar baixa a densidade espectral de potência no solo para evitar interferência com outros serviços na mesma faixa.
3. A necessidade de alta eficiência no transmissor de alta potência do satélite.

O CCIR não julgou possível recomendar métodos preferenciais de modulação, mas forneceu uma útil visão comparativa dos métodos possíveis [2].

Foram examinados com alguns detalhes os seguintes métodos de modulação:

1. FDM/FM: Multiplexagem por divisão de frequência com modulação em frequência da portadora.
2. SSB/AM: Modulação em amplitude da portadora em faixa lateral singela.

FDM/FM é um método flexível de modulação que permite balancear a largura de faixa de RF para melhoria da relação sinal-ruído. Em FDM/FM, um

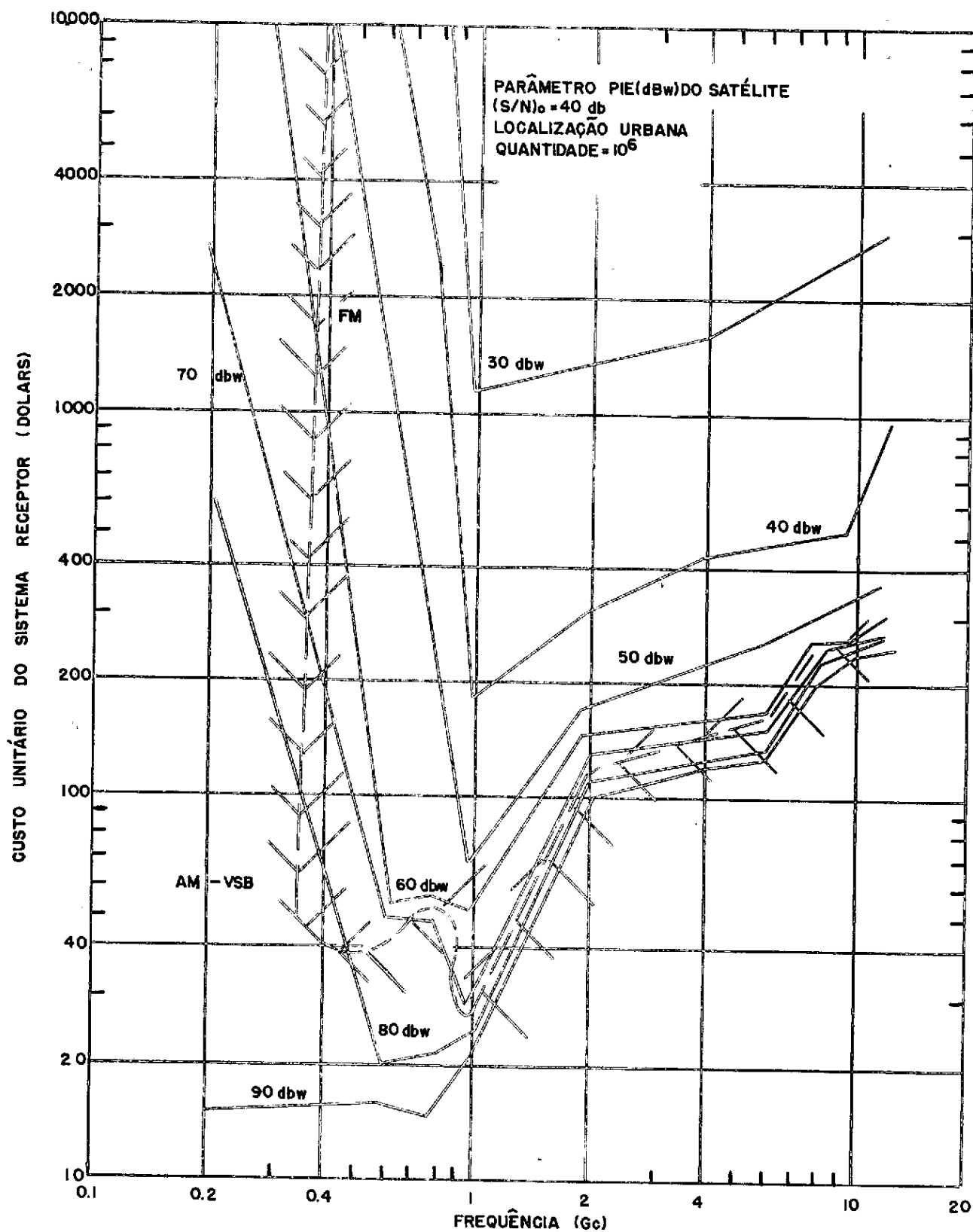


Fig. 3-3. CUSTO UNITÁRIO DOS SISTEMAS RECEPTORES EM FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA-RUÍDO INDÍGENO MÁXIMO.

bloco do espectro é transladado para a banda básica e modulado em FM diretamente na portadora. Não há restrições sôbre o número de sinais ou tipos de modulação usado para a informação no bloco original do espectro. Se o sinal FDM/FM é demodulado, o sinal original pode ser recuperado por heterodinagem da saída do demodulador de volta à faixa original de frequência.

Assim, os sinais FDM/FM têm grande largura de faixa, alta relação sinal-ruído, e baixa densidade espectral de potência associada com FM. Sua transmissão é realizada com uma sô portadora, o que permite alta eficiência nos amplificadores de potência de RF com alta intermodulação, e podem ainda aceitar qualquer forma de sinal de entrada com o mesmo processador de sinais. A figura 3.4 mostra o espectro FDM/FM produzido pelo satélite.

A fim de minimizar a interferência, nos satélites que usam FM, das estações retransmissoras de rádio que irradiam na mesma frequência, pode ser empregada a técnica da dispersão de energia portadora. Esta técnica requer a aplicação constante ao transmissor de um sinal modulador de baixa frequência, de maneira que na ausência de outra modulação, a energia portadora é ainda espalhada sôbre tôda a largura de faixa.

A transmissão SSB/AM é a única em que as larguras de faixa necessárias para os canais de RF são muito inferiores às de outros métodos de modulação. Por outro lado, os requisitos de linearidade em amplitude serão críticos se a modulação cruzada entre os canais telefônicos tiver de ser mantida baixa. Tal requisito é difícil de ser satisfeito nos amplificadores de RF de saída do satélite e transmissores nas estações terrestres onde também é requerida uma alta eficiência. A vantagem principal da modulação AM/SSB é que, na trajetória terra-satélite, ela possibilita a reunião de blocos de

canais telefônicos de muitas estações no solo, de baixa capacidade, num receptor comum de faixa larga no satélite. Quando comparado ao sistema FM/FDM o uso de AM/SSB na ligação terra-satélite leva a riscos maiores de interferência com retransmissores de rádio. Na ligação satélite-terra, sob condições de tráfego intenso, o sistema AM/SSB importa numa concentração relativamente alta de energia numa faixa limitada de RF com risco de interferência com receptores de sistemas de retransmissão de rádio compartilhando a mesma faixa de frequências.

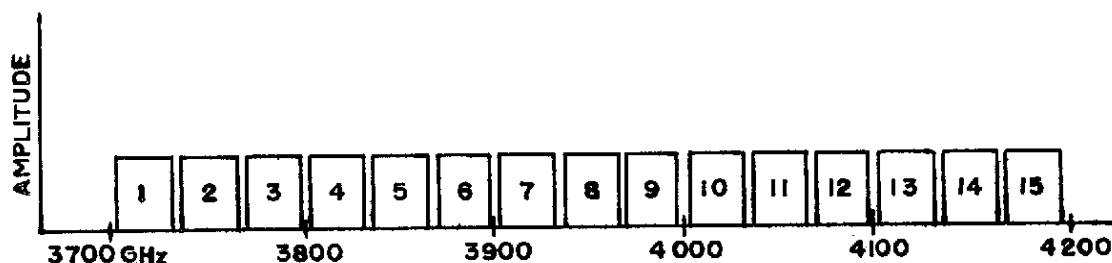
3.2.4 Distribuição de Potência

O satélite operará normalmente três amplificadores TWT, cada um deles capaz de fornecer a potência de 350 watts. Isso permite obter a alta potência e a flexibilidade necessárias a um funcionamento eclético.

Quando concentrada pela antena de alto ganho do satélite sobre uma área que cubra o país, a potência irradiada efetiva de cada válvula é de 180 000 watts. Utilizando a melhoria da relação sinal-ruído e a alta eficiência do transmissor do satélite que a FM possibilita, cada válvula fornece potência suficiente para um canal simples de TVE de alta qualidade com antenas receptoras no solo da ordem de 1,85 m. As necessidades de potência para TVE estão relacionadas na tabela 3.2 e a qualidade de imagem resultante na figura 3.5. Apesar do satélite ter potência suficiente para fornecer até três canais de TVE, somente um, ou no máximo dois serão requeridos, deixando o restante da capacidade para uso em comunicações domésticas.

Quando o satélite é comutado da transmissão de TVE para a retransmissão de comunicações, a potência disponível é suficiente para permitir o uso de

CAPACIDADE TOTAL DO SATÉLITE USADA PARA COMUNICAÇÕES



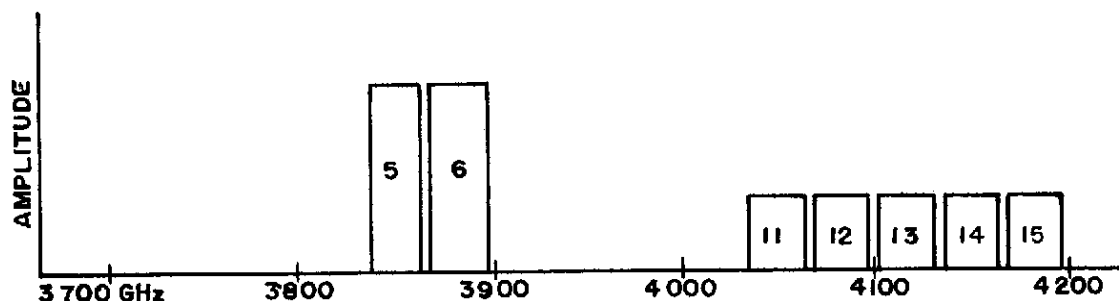
Largura dos canais 15-30 MHz

Cada canal contará 600 sub-canais de fonia ou 1 canal de TV

Faixas de guarda entre os canais 3,2 MHz

Faixas de guarda no fim e no início da faixa
2,6 MHz

SATÉLITE USADO PARA COMUNICAÇÕES E TV



Dois canais de alta potência com 30 MHz de largura para TVE

Cinco canais de comunicações cada um capaz de conter 600 sub-canais de fonia ou 1 canal de TV.

Frequência central n -ésimo canal $3717,6 - (n-1) 33,2$ MHz

Límite inferior do canal $3702,6 - (n-1) 33,2$ MHz

Límite superior do canal $3732,6 - n (n-1) 33,2$ MHz

Fig. 3-4. ALOCAÇÕES ESPECTRAIS PARA TVE E COMUNICAÇÕES

um terminal pequeno, o que é desejável num sistema com cerca de 500 a 1000 instalações.

Empregando um amplificador paramétrico não refrigerado e demodulador de fase coerente, a antena adequada para o terminal de comunicações pode ter a exígua dimensão de 4,58 m de diâmetro. Isto é, consideravelmente menor e menos complexo que o terminal padrão de 28 metros da Intelsat.

Como para transmissão direta de TVE a potência requerida no satélite é superior à necessária às telecomunicações de alta qualidade na mesma largura de faixa, procura-se espalhar a potência da válvula de comunicações sobre uma largura de faixa bem maior aumentando a capacidade para comunicações.

A capacidade realizável do demodulador é de 600 canais de fonia e isto impõe uma carga máxima de 600 canais para cada portadora de F.M.. Para esta carga de canal a largura de faixa ótima em RF com FM é de aproximadamente 30 MHz, e essa largura é compatível com a largura da faixa requerida para um canal de televisão. Consequentemente, a faixa disponível de 500 MHz, entre 3,7 e 4,2 GHz, é dividida em 15 canais; cada canal de 30 MHz fornece uma faixa suficiente para uma portadora FM/FDM ou um canal de televisão.

Estas 15 portadoras são divididas igualmente entre as três válvulas transmissoras do satélite. Assim é que cada válvula transmite um máximo de cinco portadoras. Como as portadoras são FM, é possível operar as válvulas muito próximo da saturação para obter-se uma alta eficiência e ter ainda níveis aceitáveis de intermodulação. A figura 3.6 mostra os efei

tos de "(backoff)" da saturação na distorção de intermodulação, e a figura 3.7 mostra o efeito de um certo nível de intermodulação sobre a relação total portadora-ruído.

Tabela 3-2

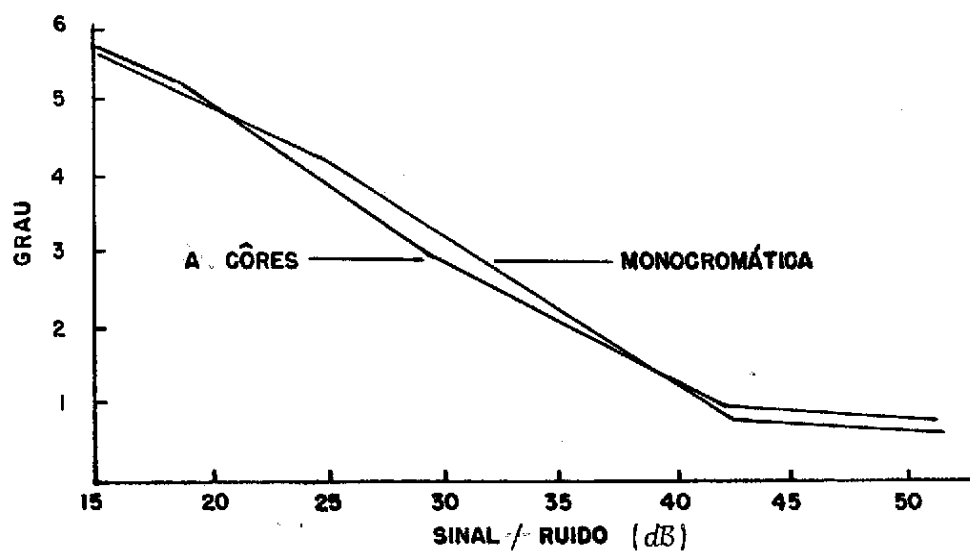
NECESSIDADES EM POTÊNCIA PARA A LIGAÇÃO SATÉLITE-TERRA PARA A TVE

Potência irradiada efetiva do satélite/canal, dBW	52,8
Perda no Espaço (4GHz), dB	-196,6
Ganho da Antena no Solo (1,85m) 60% eficiência dB	35,5
Potência recebida da portadora da TVE, dB	-107,3
Faixa de ruído do amplificador de FI, MHz	30
Potência de ruído do receptor, dBW	-122,0
Relação portadora-ruído no centro do feixe, dB	13,7
Melhoria de prê-ênfase, dB	14
Melhoria de FM, dB	15,5
Relação sinal (RMS)-ruído (RMS) (centro do feixe), dB	43,2
Limite do Discriminador, dB	10,0*
Margem acima do Limite (centro do feixe), dB	3,7

Nota: A perda devida a chuvas fortes é de aproximadamente, 2 dB.

Nos limites do feixe, a relação sinal-ruído é de 40,2 dB e a relação portadora-ruído é de 10,7 dB. Uma antena de 2,4m de diâmetro aumentaria estes valores de 2,5 dB em relação aos valores calculados para uma antena com 1,85m.

* relação de largura de faixa = 6



GRÂU	QUALIDADE DA IMAGEM
1	Ruído Imperceptível
2	Ruído vagamente perceptível
3	Ruído perceptível, não desagradável
4	Ruído desagradável
5	Imagem imprestável

Nota: A relação sinal-ruído para antenas de 1,85 m é 43,2 dB.

Fig. 3.5 - QUALIDADE DE IMAGEM EM FUNÇÃO DA RELAÇÃO SINAL-RUÍDO

Para um "back-off" de apenas 2,0 dB a relação portadora-ruído de intermodulação será reduzida para quase 14 dB. Para uma desejada relação portadora-ruído total de 13,0 dB, quase todo o ruído é contribuição da intermodulação. Assim a absorção pela chuva e outras perdas que afetam a potência recebida da portadora não causam perda equivalente à margem da relação portadora-ruído total, pois a maior parte do ruído está no sinal transmitido. Este efeito, junto com a temperatura de ruído ligeiramente alta do amplificador paramétrico não refrigerado, possibilita o uso de uma margem para chuvas ligeiramente menor que a requerida para terminais mais sensíveis. As necessidades em potência para a ligação satélite-terra para comunicações estão indicadas na Tabela 3.3.

Para comunicações domésticas, muitas das estações estarão transmitindo através de pequeno número de canais de fonia, sendo poucas as estações a transmitir em várias centenas destes canais. As portadoras que podem ser simultaneamente transmitidas por um satélite retransmissor operado próximo à saturação, são limitadas a um número relativamente pequeno pela distorção de intermodulação. Assim, se cada estação é capaz de transmitir uma portadora FM/FDM, é possível que a capacidade do satélite possa ser inteiramente absorvida por poucas e pequenas estações no solo. Um meio de prevenir que isto ocorra é operar com os amplificadores bem abaixo da saturação; isto, entretanto, reduz suas eficiências. Uma segunda possibilidade, que permite sejam os amplificadores operados próximos à saturação e impede ainda a perda da capacidade do satélite, é a de multiplexar no satélite. As estações transmitindo em pequeno número de canais de fonia poderiam transmitir para o satélite usando AM/SSB numa determinada faixa de frequência. Um receptor no satélite poderia

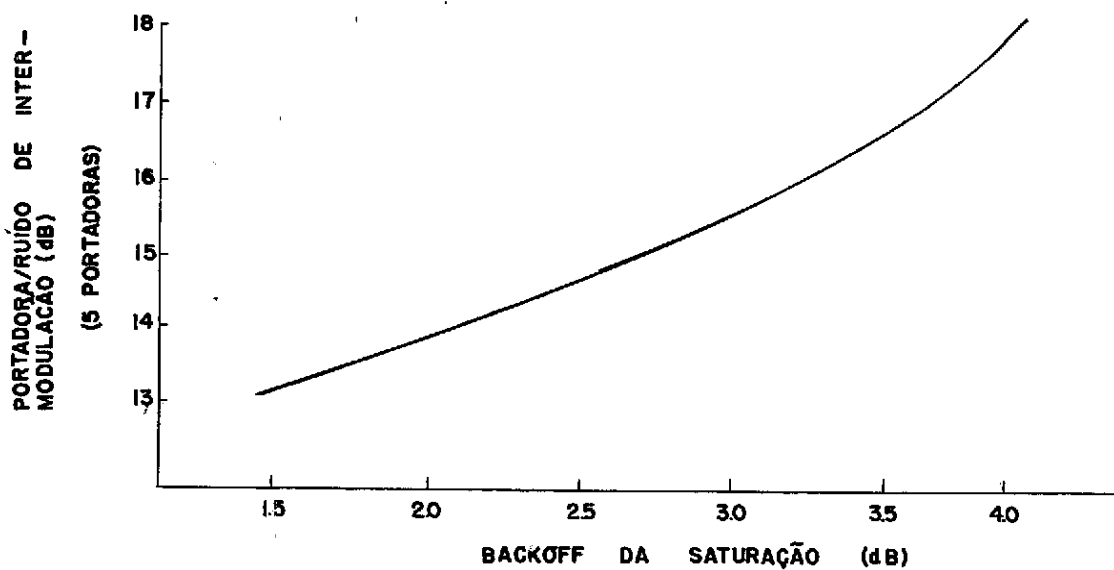


Fig. 3.6 REDUÇÃO DO RUÍDO DE INTERMODULAÇÃO COMO FUNÇÃO DO "BACKOFF" DA SATURAÇÃO

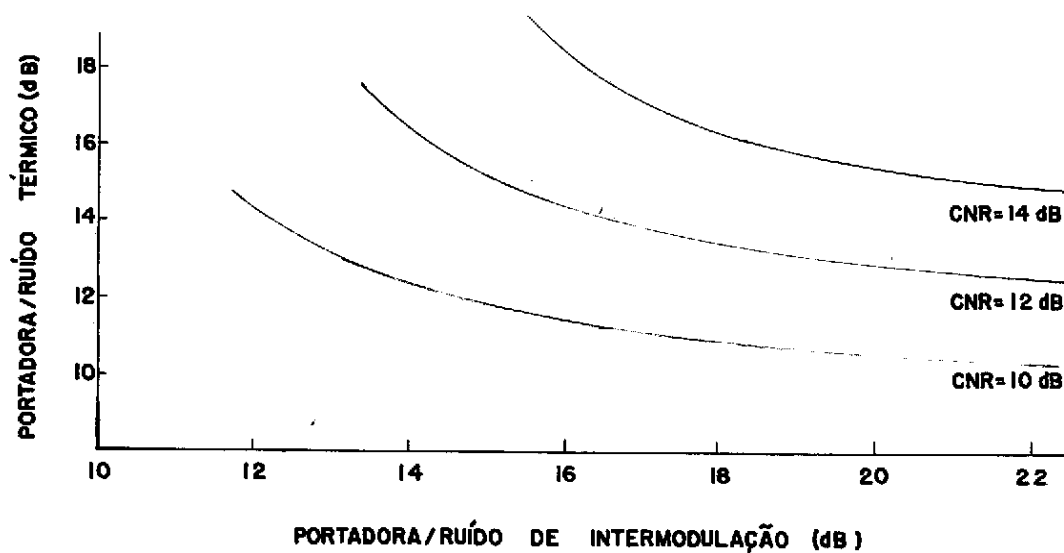


Fig. 3.7 CURVAS COM RELAÇÃO PORTADORA/RUÍDO TOTAL CONSTANTE COMO FUNÇÃO DAS RELAÇÕES PORTADORA/INTERMODULAÇÃO E PORTADORA/RUÍDO TÉRMICO

Tabela 3.3

NECESSIDADE EM POTÊNCIA PARA A LIGAÇÃO
SATÉLITE-TERRA PARA COMUNICAÇÕES

Potência irradiada efetiva no satélite/válvula	52.8 dB
Perda Espacial (4 GHz)	-196.6 dB
Ganho de Antena no Solo (4,5 m, 65% eficiência)	44.0 dB
"Power Split" (5 canais)	-7.9 dB
"Back-off" para reduzir a intermodulação	-2.0 dB
Potência recebida da portadora/canal	-109.7 dB
Fator de ruído do receptor (amplificador paramétrico)	-0.1 dB
Potência de ruído recebida (30 MHz)/canal	-129.8 dB
Relação portadora-ruído (têrmico) (centro do feixe)	20.1
Intermodulação da portadora para o satélite (5 canais)	14.0 dB
Relação portadora-ruído total	13.0 dB
Melhoria de pré-ênfase	3.0 dB
Melhoria de FM (600 canais de fonia)	24.8 dB
Ponderação psophométrica	2.5 dB
Relação da largura de faixa menos a relação "noise loading"	16.1 dB
Límite do discriminador (Phase Lock)	7.0 dB
Relação Sinal Teste-ruído (centro do feixe)	59.4 dB
Margem acima do limiar	6.0 dB

Nota: Para uma ligação terra-satélite com relação sinal teste-ruído de 54,5 dB, o ruído total na ligação é -52,9 dBm ou 5100 pW.
As recomendações do CCIR são de 10.000 pW.

então trasladar todas as portadoras AM/SSB que caem dentro de sua faixa de passagem de 2,75 MHz para a banda básica. Este sinal na banda básica é idêntico ao sinal da banda básica de FDM que teria sido gerado se todos os canais de fonia se tivessem originado num simples terminal de alta capacidade. Este sinal composto de banda básica é então usado para modular em frequência uma única portadora com um desvio pico a pico de 24 MHz. Com um "back-off" de apenas 2 dB abaixo da saturação, cada válvula pode transmitir cinco destas portadoras compostas, o que permite operar vários milhares de estações e se necessário, ter acesso simultâneo sem prejudicar a alta eficiência do transmissor do satélite. A potência necessária para a ligação terra-satélite em FDM/SSB como função do número de canais de fonia, é mostrada na Tabela 3.4.

Tabela 3.4

REQUISITOS EM POTÊNCIA PARA A LIGAÇÃO TERRA-SATÉLITE
(TRANSMISSÃO SSB)

Requisitos	Número de Canais de Fonia SSB				
	1	12	60	240	600
Potência do sinal de teste do transmissor, dBW	24,4	24,4	24,4	24,4	24,4
Fator de carga do canal (CCIR), dB	-1,0	3,3	6,1	8,8	12,8
Potência média, dBW	23,4	27,7	30,5	33,2	37,2
Fator de Pico para sobrecarga <0,1% do tempo	17,3	17,5	18,1	19,1	23,0
Potência de pico da envolvente, dBW	41,7	41,9	42,5	43,7	47,4
Parâmetros da Ligação Terra-Satélite					
Frequência -----	6 GHz				
Ganho da antena do satélite-----	27,4 dB				
Fator de ruído do receptor do satélite-----	5 dB				
Relação sinal de teste do satélite para ruído ponderado-----	54,5 dB				
Margem na ligação terra-satélite(perda no diplexador 1 dB, perda por chuvas 2 dB, perda por afastamento do centro do feixe 3 dB)-----	6 dB				
Ganho da antena transmissora do solo (4,5 m) -----	46 dB				

Notas:

1. O uso de equipamento de compressão de fonia pode reduzir de 10 a 15 dB a potência requerida do transmissor.
2. Os valores CCIR não são consistentes com os resultados experimentais para um pequeno número de canais: Os testes indicam que o fator de carga deve ser cerca de -10,0 dB para um simples canal de fonia.
3. Terminais maiores seriam capazes de reduzir a potência requerida usando transmissão FM.

Tabela 3.5

NECESSIDADES DE POTÊNCIA PARA A LIGAÇÃO TERRA-SATÉLITE
(TRANSMISSÃO EM FM)

Largura de Faixa de Ruído do receptor do satélite -----	30	MHz
Fator de ruído do receptor do satélite-----	5	dB
Ganho da antena do satélite -----	27,4	dB
Perda no espaço (6 GHz) -----	-200,1	dB
Relação desejada portadora-ruído -----	25,0	dB
Potência de ruído do receptor -----	-124,0	dB
Potência necessária na portadora-----	-99,0	dBW
Ganho da antena do transmissor no solo (4,5m) -----	46,0	dB
Potência do transmissor no solo -----	+27,7	dBW

Notas:

1. A Relação Portadora-Ruído de 25,0 permite perda devido à chuvas e ao posicionamento da antena.
2. A transmissão em FM é planejada para transmissão de TVE e comunicações de fonia de alta capacidade (600 canais) entre pontos fixos.

Terminais maiores, com 600 canais de fonia ou mais, empregados para comunicações de alta capacidade entre pontos fixos não necessitarão de acesso múltiplo para essas ligações. Estas estações usarão FM/FDM para a ligação terra-satélite em lugar de AM/SSB usada estações menores o que acarreta uma economia na potência do transmissor no solo requerida para a transmissão em SSB do mesmo número de canais. As necessidades de potência do transmissor para a transmissão em FM na ligação terra-satélite são mostradas na Tabela 3.5.

Assim a previsão para AM/SSB ou FM/FDM permite a utilização eficiente de terminais com capacidades bem diferentes, enquanto se conserva a possibilidade de acesso múltiplo para um grande número de terminais sem sacrificar a eficiência do transmissor do satélite.

Como o satélite compartilhará a faixa de 3,7 a 4,2 GHz com comunicações no solo, a densidade de potência deve ser suficientemente baixa para minimizar a possibilidade de interferência com as atividades já existentes. Em sua convenção de 1963 em Genebra, o CCIR recomendou que para sistemas de satélite de comunicações usando FM de largo desvio, o fluxo de potência na superfície da Terra, devido às emissões do satélite, não deve exceder -130 dBW/m^2 e a densidade do fluxo de potência não deve exceder -149 dBW/m^2 , por 4 KHz (ou -152 dBW/m^2 por 4 KHz para outras formas de modulação). A fim de conservar a interferência produzida nos satélites dentro de limites aceitáveis, foi recomendado que no caso de sistemas de retransmissão de rádio a potência efetiva irradiada não deveria exceder $+55 \text{ dBW}$, ou a potência do transmissor exceder $+13 \text{ dBW}$.

A densidade de potência para o satélite é de $-149.1 \text{ Watts/m}^2/4\text{Khz}$ sendo o limite igual a $(-152 \pm 0.15^\circ) \text{ dBW/m}^2/4\text{KHz}$. Por ficar o satélite próximo da vertical e por estar a potência do satélite concentrada num feixe estreito, o nível máximo de potência recomendado de $-146,0 \text{ dBW/m}^2$ em qualquer faixa de 4KHz não é ultrapassado pelo sistema proposto.

REFERENCIAS

1. CCIR, "Active Communication Satellite Systems for Monochrome Television Video Bandwidth and Permissible Noise in the Hypothetical Reference Circuit," Recommendation 354 of the Tenth Plenary Assembly of the CCIR, Geneva, 1963.
2. CCIR, "Active Earth Satellite Communications-Satellite System : A Comparative Study of Possible Methods of Modulation," Report 211 of the Tenth Plenary Assembly of the CCIR, Geneva, 1963.
3. CCIR, "Factors Affecting the Selection of Frequencies for Telecommunications with and between Space Craft," Report 05 of the Tenth Plenary Assembly of the CCIR, Geneva, 1963.
4. Richard B. Marsten e John Mahler, "Feasibility Model of a Direct-to-Home Television Satellite System for a 1969 Launch," Relatório 66-309 presented at the AIAA Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 Maio 1966.

3.3 ANTENAS NO SOLO

Esta seção trata das antenas usadas para a recepção direta do satêlite e das antenas usadas para a transmissão de comunicações através do satêlite. As exigências para essas antenas são bem diferentes, e assim são consideradas separadamente. Muitas antenas diferentes poderiam satisfazer os requisitos elétricos do sistema. Os fatôres determinantes no projeto da antena de TVE são considerações econômicas como o prêço e a disponilidade de matêria prima no país, conveniência de produção em alta escala, rapidez e simplicidade na montagem, e baixa inversão de capital para maquinária a ser importada. Em virtude do pequeno número requerido de antenas de telecomunicações, seu projeto depende mais de despesas de usinagem, eficiência, contabilidade, e facilidade de transporte.

No Apêndice G, são discutidas as conveniências de grande parte dos principais tipos de antenas de micro-ondas. Razões estruturais recomendam a antena parabólica como sendo melhor para êsse fim.

3.3.1 Materiais e Técnicas de Produção

Uma parábola com as dimensões desejadas pode ser feita por estampagem ou encurvamento ou, no caso de plásticos, pode ser montada sôbre uma moldura, ou fabricada por uma fresa controlada por computador. Estas técnicas e seus mêritos relativos serão mais adiante analisados mediante comparação dos diversos tamanhos e quantidades de produção.

1. Moldagem mediante rotação

Para relações f/d (relação da distância focal para o diâmetro do re
fletor) em torno de 0,3; pode ser construído um parabolóide de metal razoável
mente bom pelo encurvamento de uma folha de alumínio num torno, segundo a su
perfície: desejada enquanto se verifica a curvatura com um molde padrão. A
mão de obra pode variar, mas meio homem-hora pode ser considerado típico para
a fabricação do parabolóide. Presentemente, este método é usado para produ
zir antenas relativamente pequenas em pequenas quantidades; mas devido à pro
dução unitária, é um método lento e dispendioso para grandes quantidades.

2. Refletores de plástico

Já existe uma tecnologia para a manufatura de refletores de plástico
numa grande gama de diâmetros [4]. Este método utiliza uma espuma rígida e
leve ($\sim 2 \text{ lb/ft}^3$) e películas de fibra de vidro reforçadas com tecido como ma
teriais estruturais e com molduras como formas estruturais primárias. A fabri
cação de antenas com diâmetros até 2,5m é realizada sem uso de ferramentas es
peciais. As fases de manufatura são as seguintes [8]:

- a. Espalha-se uma fina camada de cobertura não adesiva sobre um mol
de de gesso com o contorno exato da antena desejada;
- b. Coloca-se sobre o molde um tecido flexível de fibra de vidro im-
pregnado com epoxy para formar uma camada rígida de vidro e epoxy;
- c. Acrescenta-se, em seguida espuma de poliuretano até uma largura de

alguns centímetros por meio de uma combinação pulverizada de poliuretano líquido e solvente. (Isto fornece o suporte estrutural principal da antena);

- d. Outra película é formada na parte superior para fornecer uma rigidez maior e dar uma superfície polida à antena. Chapas metálicas são imersas na camada para fornecer pontos de apoio mecânico;
- e. Após a secagem, a superfície interior é metalizada com partículas de alumínio até 0.1 mm com um maçarico de oxiacetileno e um fole de ar.

Este processo é representado na Fig. 3.8a, onde, para maior clareza, as dimensões axiais estão algo exageradas. A figura 3.8b mostra a antena de 1.2m com um alimentador Newtoniano que foi usada durante os testes preliminares. Ela é feita de plástico espumoso e fibra de vidro, e foi emprestada pela Plastic Structures Inc., Santa Clara, Califórnia.

Para antenas maiores que 2,5m de diâmetro, a técnica é a seguinte:

- a. Fabrica-se inicialmente uma estrutura em forma de cesta de ovos, para a armação côncava, com tiras de espuma. Para facilitar o transporte, a estrutura é constituída de várias seções reunidas por tiras na parte posterior;
- b. A estrutura é recoberta em ambas as faces com um tipo de gaze de algodão para fornecer uma base para a camada de espuma. A referência da estrutura é colocada na máquina de moldar espuma e a superfície exterior é usinada e coberta com tecido de fibra de vidro impregnado com epoxy.

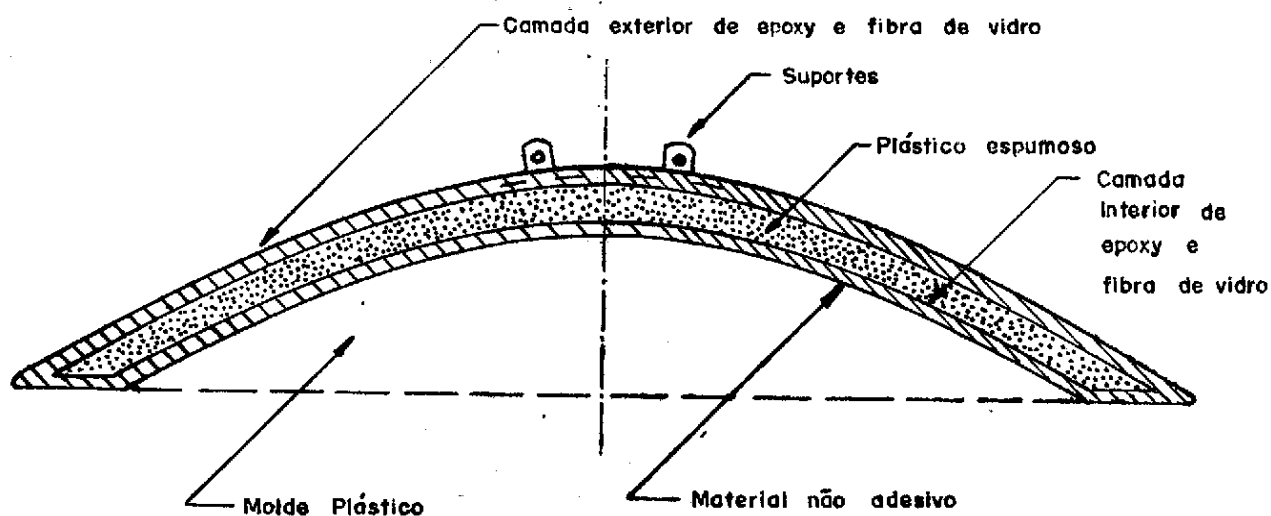


Fig. 3.8a CÔRTE DO REFLETOR PLÁSTICO

- c. Para usinar a superfície refletora, o refletor é colocado numa plataforma e cortado com ferramentas controladas por computador até atingir a curvatura requerida.
- d. A superfície refletora é então metalizada como no processo anterior e a antena é desmontada para ser transportada.

A espuma de plástico fornece uma das maiores relações rigidez-peso, daí resulta um refletor plástico pesando menos que a metade de um refletor metálico comparável, requerendo assim uma base mais leve. O fato da precisão da superfície depende somente da precisão do molde ou da máquina de moldagem torna a fabricação de um refletor de precisão uma operação rotineira [8]. Imunidade às intempéries é conseguida mediante o uso de anticorrosivos e outras coberturas protetoras. As avarias podem ser facilmente reparadas remendando os buracos

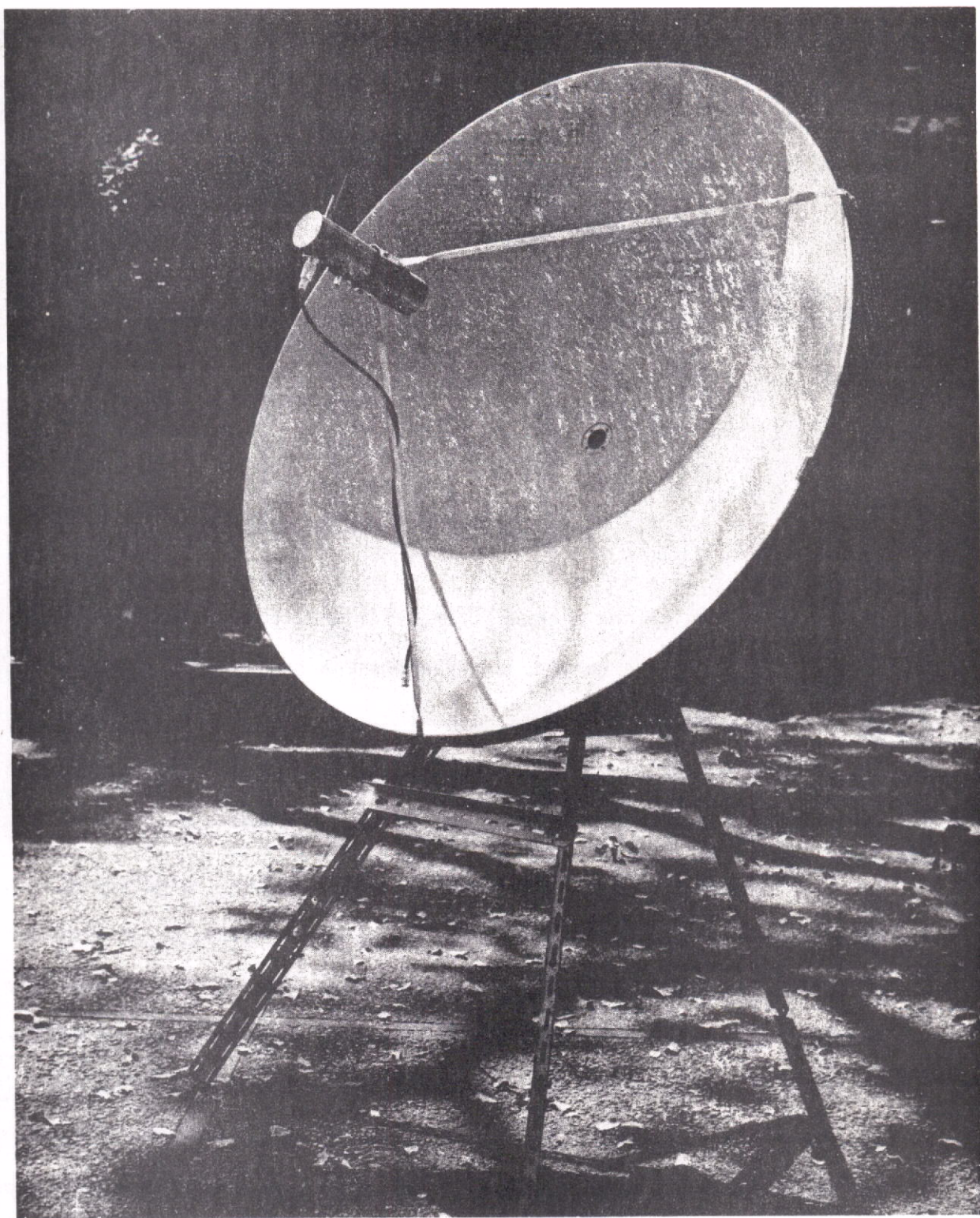


Fig. 3-86. ANTENA COM ALIMENTAÇÃO TIPO NEWTORIANA

com fibras de vidro e epoxy e remetalizando a superfície.

Entretanto, os métodos atuais de fabricação requerem manuseio especial e grandes áreas de estocagem devido ao tempo de secagem do epoxy. Isto aumenta o tempo de produção e o custo quando são consideradas quantidades da ordem de centenas de milhares. Para quantidades menores (até mil antenas) e especialmente para parábolas de dimensões médias (4 a 10 m) o refletor plástico oferece grandes vantagens quanto ao preço, ao peso, e à precisão, o que o torna altamente conveniente para as terminais de telecomunicações no solo.

3. Estampagem

A técnica de estampagem em chapas de metal atingiu a um alto grau de precisão na indústria automobilística. Efetivamente podem ser obtidas prensas capazes de estampar 60 parábolas por minuto com diâmetro de até 1,5 m. Equipamentos e moldes capazes de produzir refletores nesta velocidade podem ser comprados por US\$ 100.000 ou mais. A capacidade de alta produção deste método e sua operação completamente automatizada faz com que os custos de fabricação sejam baixos comparados com os preços do material. Com esta técnica, metal em chapas ou expandido pode ser trabalhado com uma tolerância de 1,5 mm na curvatura para antenas com f/d da ordem de 0,4 e 1,5m de diâmetro.

Para investigar o custo de estampagem, um modelo linear é usado para estimar a relação quantitativa entre os seguintes parâmetros:

Custo unitário por antena (\$)

Investimento de capital (\$)

$$\frac{\text{Custo de produção (\$ por hora)}}{\text{Número de antenas produzidas} \times \text{Velocidade de produção (antenas por hora)}}$$

O preço das máquinas, as despesas de instalação, etc. são consideradas no investimento de capital (IC). O custo de produção inclui salários, custos de manutenção, energia e despesas gerais. A relação entre esses parâmetros é expressa por:

$$\begin{aligned} \text{Custo unitário} &= \frac{\text{Investimento de}}{\text{por antena}} &= & \frac{\text{capital}}{\text{nº total de ante}} + \frac{\text{custo de}}{\text{nas produzidas}} + \frac{\text{produção}}{\text{velocidade}} + \frac{\text{preço do mate}}{\text{rial por antena}} \\ (\$) & & & \text{de produção} \end{aligned}$$

O custo da estampagem do refletor depende do investimento de capital e do preço de produção e essa dependência é ilustrada nas figuras 3.9 e 3.10. Para quantidades relativamente pequenas, o custo da prensa hidráulica determina o custo por antena e estabelece uma quantidade mínima abaixo da qual a técnica de estampagem torna-se economicamente desvantajosa. Entretanto, para grandes quantidades (em torno de um milhão de antenas), o preço da prensa é rapidamente absorvido e o custo de produção (despesas correntes mais o tempo gasto para produzir uma antena) determina então o custo unitário do refletor.

A figura 3.9 dá o custo de estampagem por antena quando são produzidas 10 antenas por hora com um investimento de capital de US\$ 100.000; a figura 3.9 mostra os custos para 60 antenas por hora com investimentos de capital de US\$ 50,000, \$ 100,000, e \$ 300,000. Na última figura pode-se ver que o aumento do número de antenas torna o custo cada vez menos sensível ao investimento do capital e cada vez mais dependente dos custos de produção.

Para estimar o custo total da antena, diversos materiais convenientes para estampagem foram considerados do ponto de vista de peso e custo (veja Fig. 3-11 e 3-12). Apesar do aço ser o material menos dispendioso, metal expandido

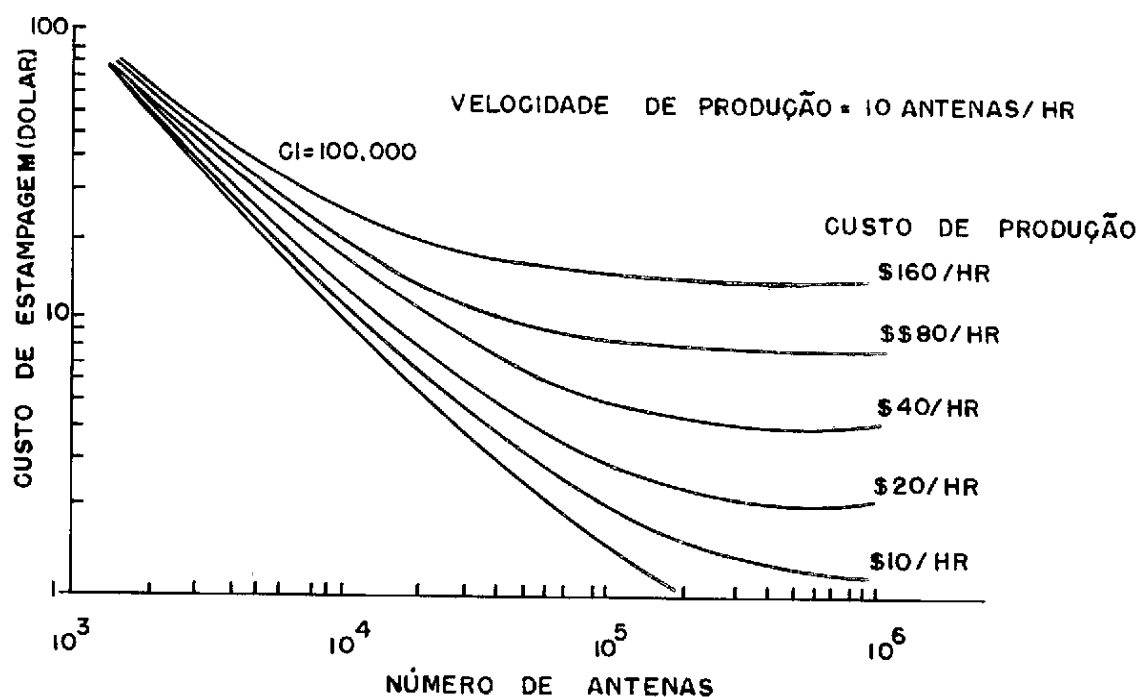


Fig. 3-9. CUSTO DE ESTAMPAGEM EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANTENAS PARA UMA VELOCIDADE DE PRODUÇÃO DE 10 ANTENAS/HORA.

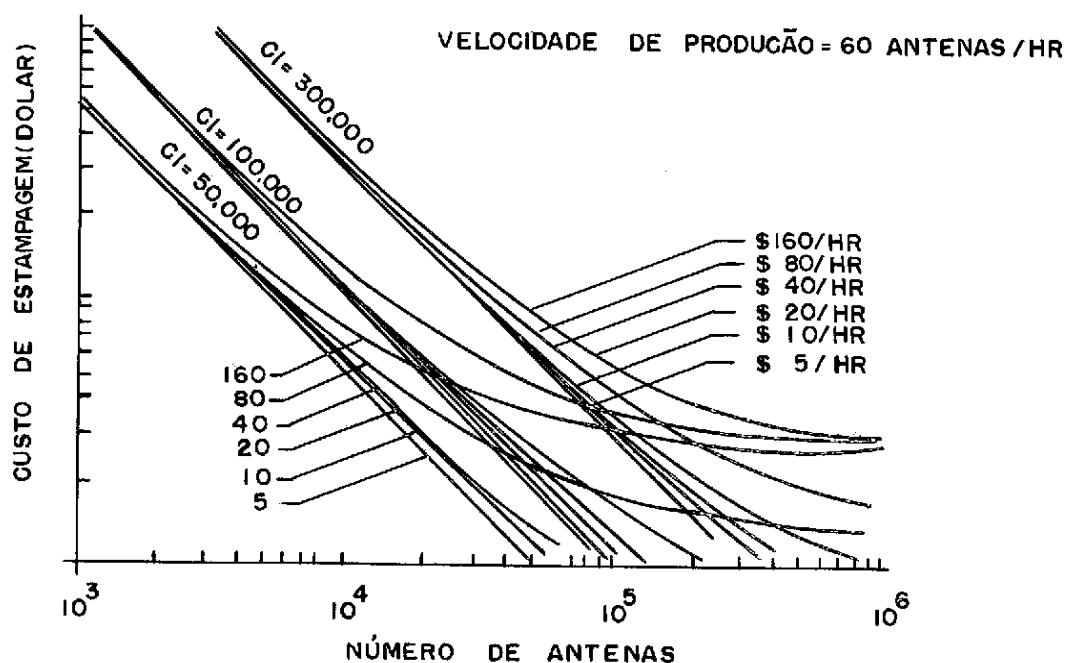


Fig. 3-10. CUSTO DE ESTAMPAGEM EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANTENAS PARA UMA VELOCIDADE DE PRODUÇÃO DE 60 ANTENAS/HORA

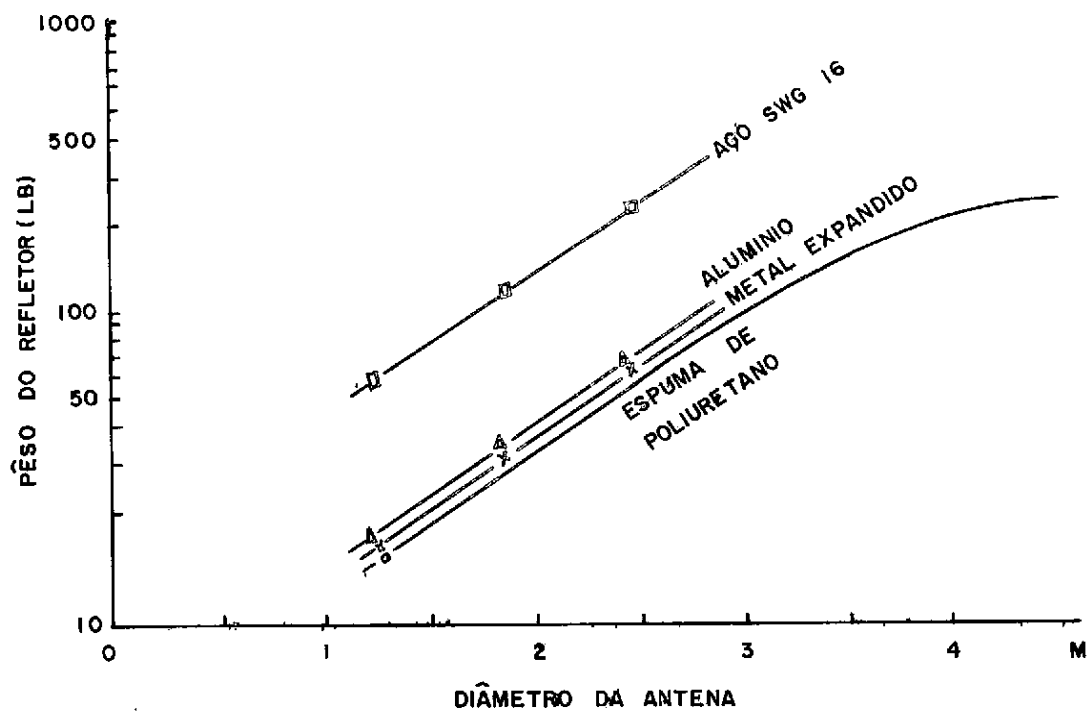


Fig. 3-11. PÊSO DO REFLETOR EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA ANTENA.

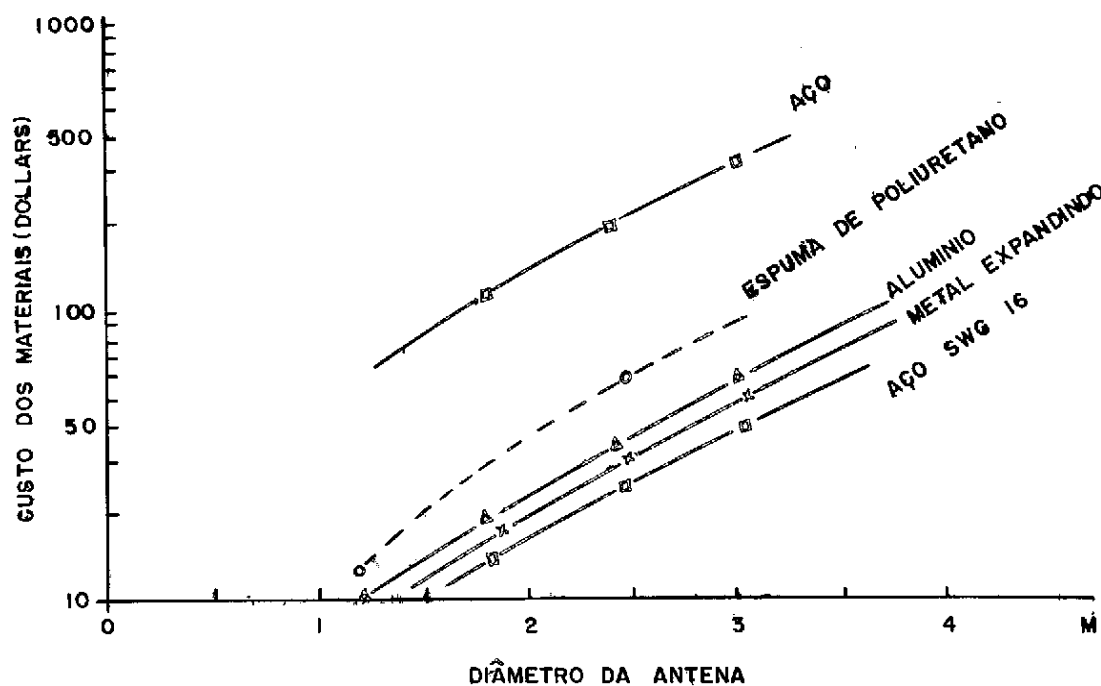


Fig. 3-12. CUSTO DO MATERIAL EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO DA ANTENA.

galvanizado, com furos de 1/4 de polegada ou menos, é mais adequado para o refletor em virtude de considerações de custo e peso e ainda porque a camada galvanizada fornecerá uma proteção adequada às intempéries.

Usando os dados das figuras 3.10 e 3.12 e os seguintes parâmetros

Investimento de capital	= \$ 300.000
Velocidade de produção	= 60 antenas por hora
Preço de produção	= US\$ 80 por hora
Número de antenas	= 100.000

os custos de antenas com 1,22, 1,83 e 2,44m foram estimados e são dados na Tabela 3.6

Tabela 3.6
CUSTOS ESTIMADOS DE TRÊS ANTENAS

	1,22m	1,83m	2,44m
Número de Peças	1	1	3
Custo do material	US\$10	US\$16	US\$26
Custo de estampagem	4,50	4,50	14
Custo total do refletor	14,50	20,50	40
Custo da antena	18	26	55

Os custos da antena para diversas quantidades são mostrados na Fig. 3.13 juntamente com alguns custos estimados para antenas de plástico (9). As curvas cheias representam o custo total do refletor quando fabricado pela técnica de estampagem hidráulica de choque único. Para quantidades relativamente pequenas a elevação das curvas é devida ao aumento dos custos de manuseio e montagem, especialmente para diâmetros grandes. A Fig. 3.14 mostra as â

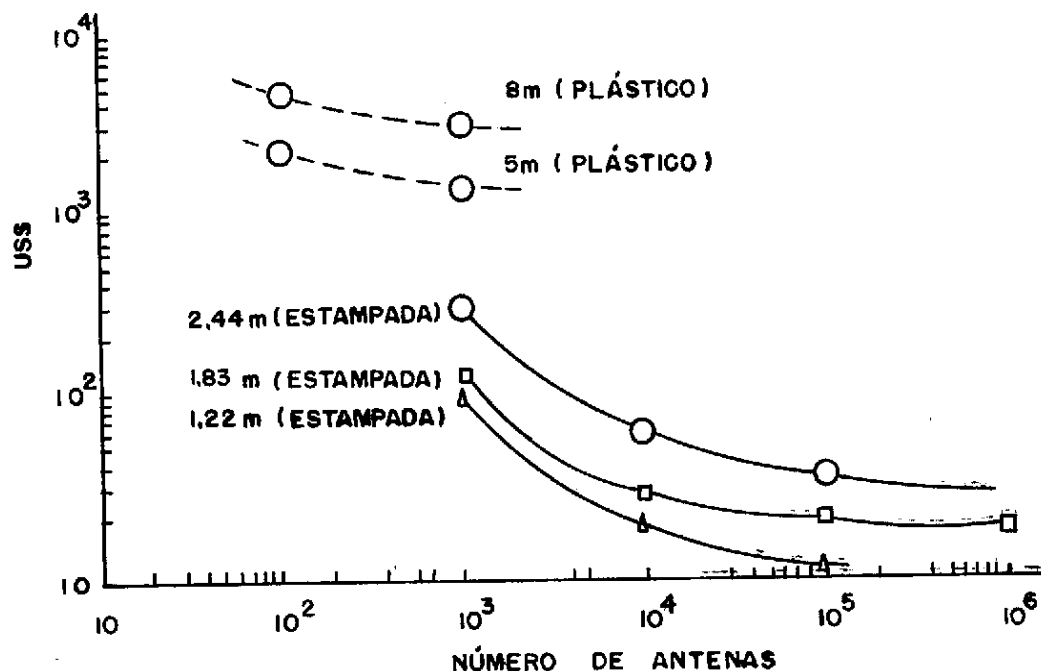


Fig. 3-13. CUSTO DO REFLETOR EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANTENAS.

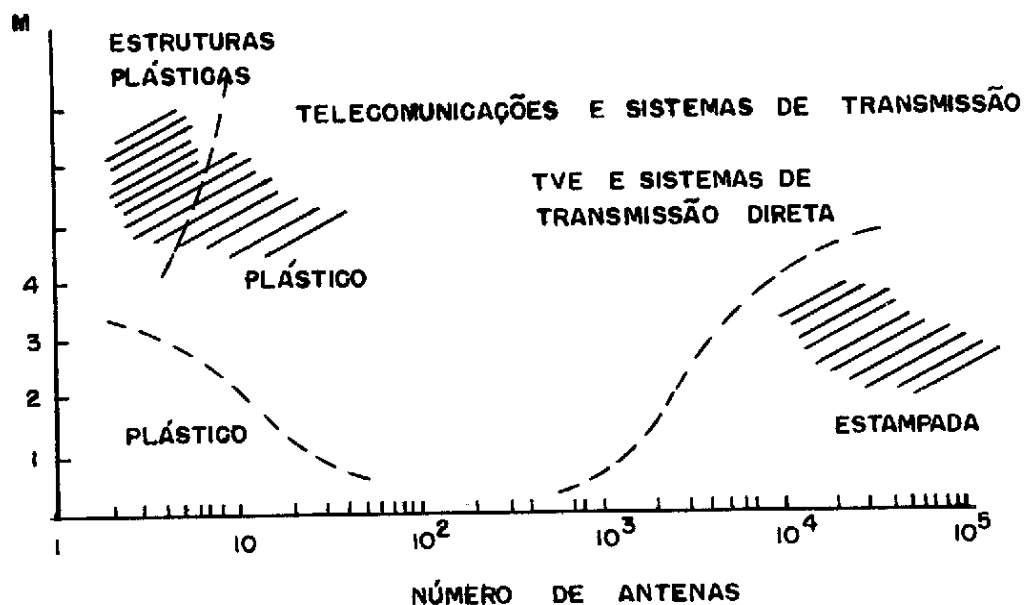


Fig. 3-14. DIÂMETRO DA ANTENA EM FUNÇÃO DO NÚMERO DE ANTENAS.

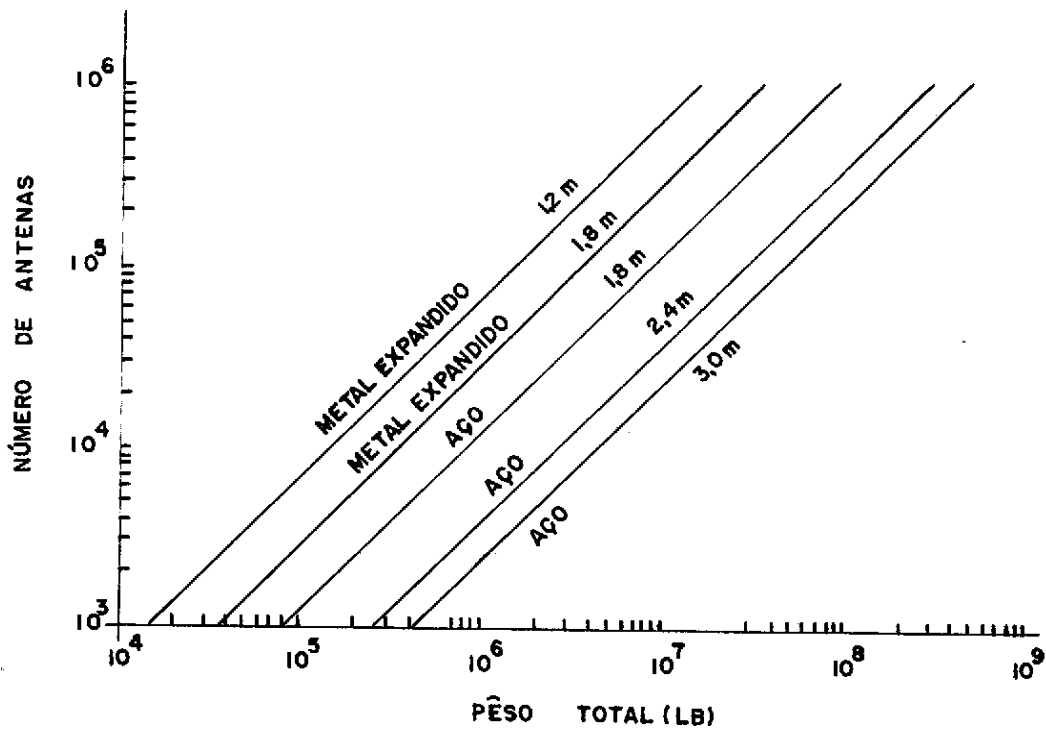


Fig. 3-15. NÚMERO DE ANTENAS VERSUS PÊSO TOTAL.

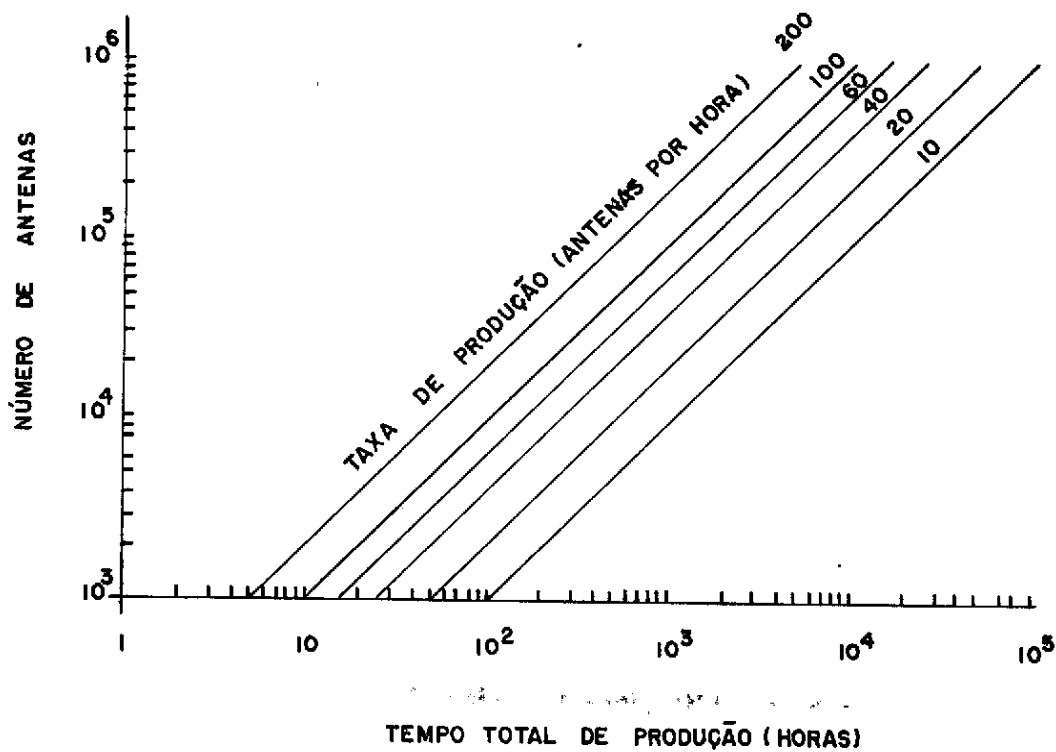


Fig. 3-16. NÚMERO DE ANTENAS VERSUS TEMPO TOTAL DE PRODUÇÃO.

reas aproximadas de aplicação das várias técnicas e as técnicas prováveis para antenas usadas em sistemas de retransmissão ou de transmissão direta.

Outros fatores relacionados com a fabricação de antenas em grande escala têm também vários graus de influência no custo unitário. Está fora dos propósitos deste projeto entrar em detalhes nestes problemas de produção; entretanto, a título ilustrativo mencionamos, que a disponibilidade de materiais e o tempo de produção geral foram ligeiramente considerados.

As figuras 3.15 e 3.16 dão o peso total do material e o número total de horas ininterruptas de produção necessárias para produzir um certo número de antenas.

3.3.2 Projeto da Antena de TVE e Alimentação

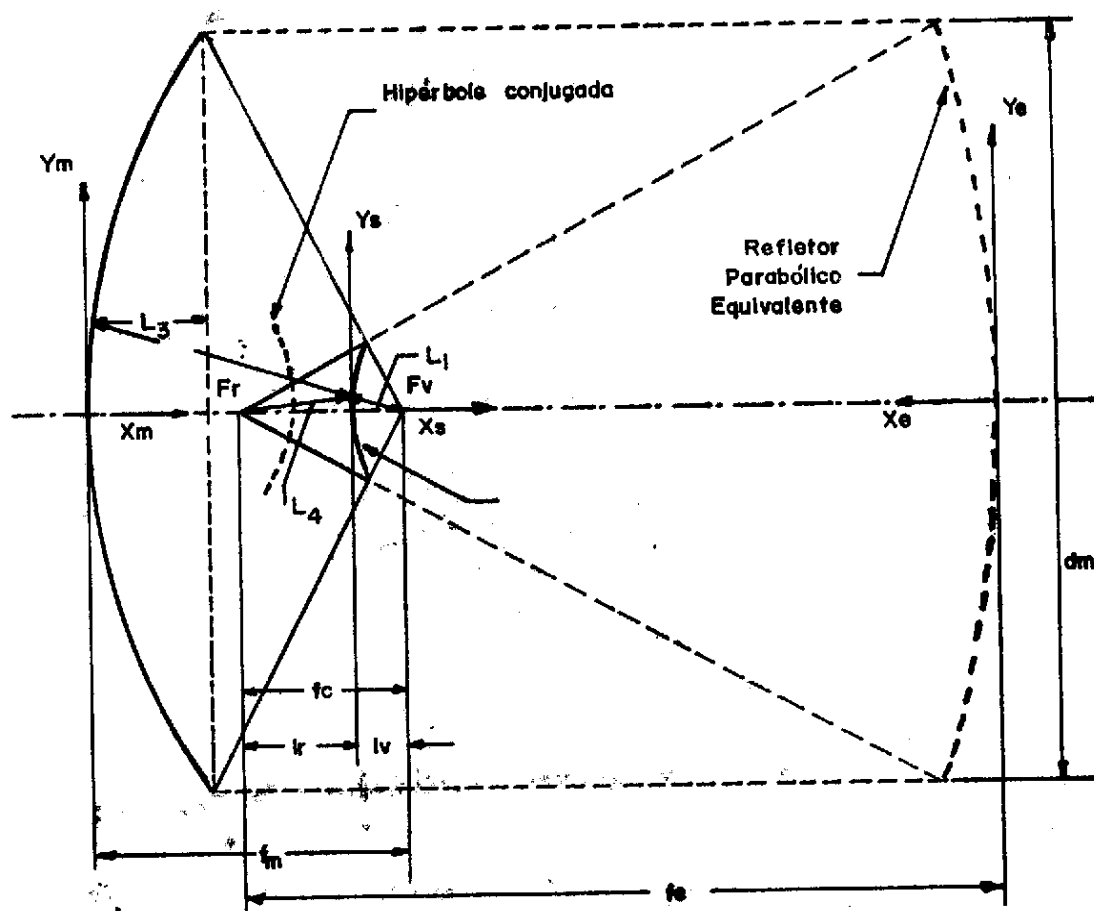
O primeiro parâmetro do projeto é a relação entre a distância focal e o diâmetro do refletor (f/d). A uma relação pequena corresponde uma concavidade mais acentuada, com baixo desperdício de radiação (lobos posterior e laterais inferiores); a abertura é menos eficiente devido à iluminação ineficiente. O modelo depende criticamente do posicionamento de alimentação. Mecanicamente, o suporte da alimentação é de fácil construção mas o suporte para a antena completa é difícil porque o centro de gravidade está colocado no vértice do parabolóide. Reciprocamente, uma grande relação f/d representa uma parábola pouco profunda, mais fácil de suportar, mas com foco distante. A alimentação é difícil de ser apoiada, mas o modelo não é seriamente alterado por pequenas tolerâncias na localização da alimentação. Com alimentação pequena, a eficiência da abertura é alta; os altos lobos laterais e o grande desperdício concomitan-

tes podem ser melhorados aumentando a alimentação, ou modificando a iluminação da abertura de modo que as bordas de reflexão sejam iluminadas com menor intensidade. Valores de f/d compreendidos entre 0,25 e 0,5 são relações típicas.

3.3.2.1 Alimentação Cassegrainiana

A alimentação tipo Cassegrain combina as vantagens elétricas de uma grande distância focal com as vantagens mecânicas de uma distância focal pequena usando um refletor secundário entre o vértice e o foco da parábola para refletir os raios para um foco secundário ou real. É vantajosa a localização do foco real perto do refletor principal do ponto de vista de construção e manutenção. Todo o recipiente do adaptador de micro-ondas pode ser convenientemente construído em redor do guia de onda focal e localizado atrás do refletor principal, o que facilita a instalação e a manutenção, encaixando-se o recipiente diretamente no refletor, após passar o guia de onda através de um orifício no vértice; assim, o conversor estará também protegido do sol.

O sistema Cassegrain pode ser analisado usando o conceito da "parábola equivalente", o que reduz a configuração ao caso Newtoniano. A parábola equivalente é o contorno obtido pela intersecção dos raios paralelos incidentes com o prolongamento dos raios convergentes ao foco real F_r (Fig. 3.17). Esta superfície pode ser considerada como um sucedâneo do refletor original; a antenna da alimentação tipo tipo Cassegrain tem uma relação equivalente distância focal diâmetro igual a f_e/d_m e é analisada como uma antena Newtoniana comum com os mesmos diâmetros e alimentação, mas com diferente curvatura. As duas consequências principais no uso da alimentação tipo Cassegrain são: diminuição da largu



Equações para o refletor principal e subrefletor

$$x_m = \frac{y_m^2}{4 f_m}$$

$$x_s = a \left\{ \left[1 + \left(\frac{y_s}{b} \right)^2 \right]^{1/2} - 1 \right\}$$

onde

$$e = \frac{\sin \frac{1}{2} (\theta_v + \theta_h)}{\sin \frac{1}{2} (\theta_v - \theta_h)}$$

$$a = \frac{f_c}{2e}$$

$$b = a \sqrt{e^2 - 1}$$

Equações para o refletor equivalente

$$\frac{1}{4} \frac{d_m}{f_e} = \tan \frac{1}{2} \theta_h$$

$$x_e = \frac{y_e^2}{4 f_e}$$

$$\frac{f_e}{f_m} = \frac{\tan \frac{1}{2} \theta_v}{\tan \frac{1}{2} \theta_h} = \frac{l_h}{l_v} = \frac{e+1}{e-1}$$

Fig. 3.17 GEOMETRIA DO REFLETOR DA ANTENA

ra de feixe ótima da corneta de alimentação, e aumento da área de bloqueio devido ao subrefletor. Entretanto, as vantagens mecânicas de um recipiente compacto, de uma só peça para a alimentação, supera a perda de bloqueio de cerca de 0,5 dB que pode ser compensada por um aumento de 4,5 por cento no diâmetro, isto é, aproximadamente 8 cm para uma antena de 1,83 m.

3.3.2.2 Parâmetros para o Projeto de uma Antena de 1,83 m

A principal desvantagem do sistema Cassegrain é o bloqueio do refletor principal. Há, entretanto, uma "condição de bloqueio mínimo" determinada pela largura do feixe da alimentação e pela distância entre a alimentação e o sub-refletor [2]. A figura 3.18 mostra que a largura do sub-refletor pode ser reduzida, sem aumento de perda de radiação, fazendo a alimentação mais direcional (reduzido ϕ_n) ou diminuindo sua distância do sub-refletor. Entretanto, isto pode implicar em bloqueio da grande corneta de alimentação. A condição intermediária, onde a sombra do sub-refletor é igual à sombra da corneta de alimentação (linhas CBM na Fig. 3.18), é a condição de bloqueio mínimo e é dada por:

$$\frac{\delta_c}{\delta_m} \approx \frac{1}{2} \frac{K d^2 h}{2 f_c \lambda} \approx \frac{d_h}{d_s}$$

O diâmetro do sub-refletor para a condição de bloqueio mínimo é dado por [2].

$$d_s (\text{min}) \approx \left(\frac{2}{K} \delta_m \lambda \right)^{1/2}$$

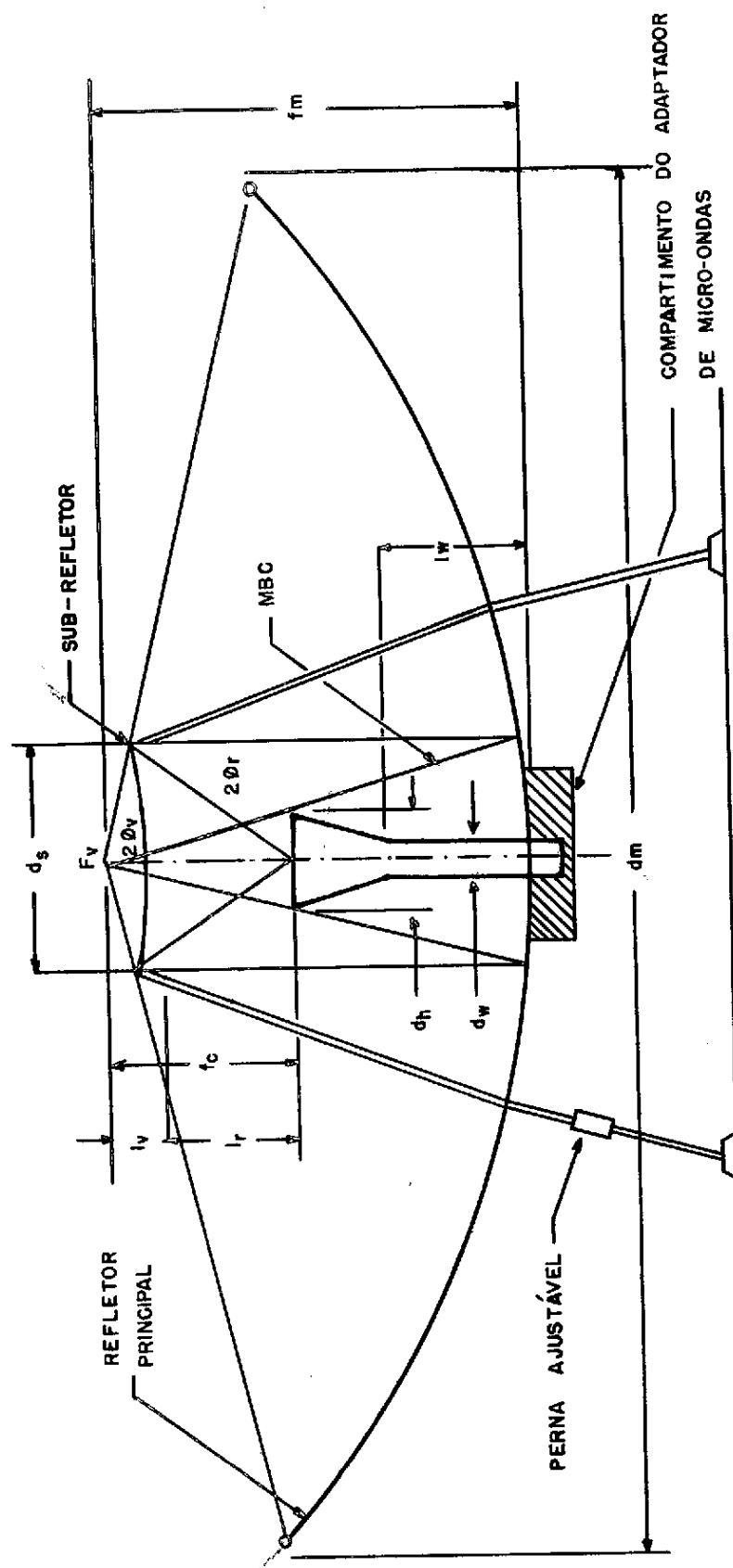


Fig. 3-18. ALIMENTAÇÃO CASSEGRAINIANA

onde

K = eficiência da corneta (0,75)

f_m = distância focal do refletor principal (0,3x1,83m)

λ = comprimento de onda de operação (7,76 cm)

Então d_s (min) = 0,335m e a perda devido ao bloqueio é dada no Apêndice G como

$$L_{\text{bloqueio}} = 10 \log \left[1 - 2 \left(\frac{0,335}{1,83} \right)^2 \right]^2 = 0,58 \text{ dB}$$

O ângulo compreendido pelo refletor principal no foco virtual é dado por

$$\cotg \phi_v = 2 \left(\frac{f_m}{d_m} \right) - \frac{1}{8 \left(f_m/d_m \right)}$$

donde $2\phi_v = 159^\circ$. Para $\phi_h = 40^\circ$, as dimensões ótimas da corneta são [8]

$$d_h = 1,6\lambda = 0,13 \text{ m}$$

Da figura 3.19

$$l_h = 2,4\lambda = 0,186 \text{ m}$$

As distâncias do foco virtual ao subrefletor (l_v) e do subrefletor ao foco real (l_h) são calculadas por

$$\frac{d_s/2}{d_h/2} = \frac{f_m}{f_c}$$

donde

$$f_c = \frac{f_m d_h}{d_s} = 0,24 \text{ m}$$

Da figura 3.17

$$\frac{e+1}{e-1} = \frac{l_h}{l_v} = \frac{\tan \frac{1}{2} \phi_v}{\tan \frac{1}{2} \phi_h} = \frac{\tan 40^\circ}{\tan 20^\circ} = 2,31$$

onde e é a excentricidade da hipérbole

Como

$$b_c = l_v + l_h = 0,24m$$

onde $l_v = 0,073m$ e $l_h = 0,167m$, a excentricidade $e = 2,52$

Esses parâmetros tanto para uma antena de 1,83m, quanto para antenas de 1,22m e 2,44m, estão resumidos na Tabela 3.7.

Para comparação, a configuração Newtoniana é mostrada na Fig. 3.19.

Tabela 3.7
PARÂMETROS DO PROJETO

Parâmetros	Símbolo	1,83m	2,44m
Diâmetro do Refletor Principal, m	d_m	1,83	2,44
Distância focal virtual, m	f_m	0,549	0,732
Diâmetro do subrefletor, m	d_s	0,335	0,389
Largura de feixe da corneta (pontos de -10dB), graus	ϕ_h	80	80
Ângulo subtendido pelo parabolóide, graus	ϕ_v	159	159
Diâmetro do guia de onda misturador, m	d_w	0,060	0,060
Comprimento do guia de onda misturador, m	l_w	0,23	0,42
Diâmetro da boca da corneta, m	d_h	0,13	0,13
Comprimento da corneta, m	l_h	0,186	0,186
Distância entre F_h e F_v , m	f_c	0,24	0,27
Perda de Bloqueio, dB	L_{bl}	0,58	0,43
Perda de Erro de fase, dB	L_{be}	0,2	0,2
Erro de fase da alimentação, dB	L_{fp}	0,2	0,2
Perda de amplitude por desvio na posição, dB	L_{at}	0,27	0,27
Perda de "transbordamento" dB	L_{so}	0,44	0,44
Perda de Polarização cruzada, dB	L_{cp}	0,1	0,1
Perda de Fluxo de Corrente, dB	L_{ct}	0,1	0,2
Perda total, dB	L_{tot}	1,89	1,84
Ganho teórico, dB	G_{th}	37,4	39,98
Ganho real, dB	G	35,51	38,12

REFERÊNCIAS

1. D.K. Cherry and S.T. Mosely, "On Axis Defocus Characteristics of the Parabolic Reflector." "IRE Trans. on Antennas and Propagation". Out 65
2. Peter W. Hannan, "Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope," "IRE Trans. on Antennas and Propagation", Março 1961.
3. B.A. Munk, "Far Field Pattern for Reflector Antenna with Displaced Feed," "14th Annual Symposium USAF Antenna Research and Development Program", Outubro, 1964.
4. Plastic Structures, Inc., Santa Clara, California. Manufacturer's Catalog.
5. J. Ruze, "Physical Limitation on Antennas," "Tech. Rept nº 248, MIT Research Laboratory of Electronics", Outubro 1962
6. J. Ruze, "Antenna Tolerance Theory - A Review," Proc. IEEE, 54, 4 Abril 1966.
7. G. Southworth, Principles and Applications of Waveguide Transmission, D. Van Nostrand Co., Inc. 1950.
8. Mr. Mack Suliteanu, Plastic Structures, Inc., Santa Clara, California Private communications.
9. Mr. Ace Thordarson, Plastic Structures, Inc., Santa Clara, California Private communications.
10. W.T. Williams, "High Efficiency Antenna Reflector," Microwave J., Julho 1965.

3.4 PROJETO ELETRÔNICO DO CONVERSOR DE BAIXO CUSTO

Esta seção apresenta uma montagem de conversor de micro-ondas pouco dispendioso constituído de um misturador, de um oscilador local, de um amplificador de frequência intermediária, e de um discriminador de faixa larga. (Ver seção 3.1 para uma visão da estrutura da estação receptora e seção 3.2 para uma análise detalhada do esquema de modulação).

3.4.1 Misturador

Uma vez coletado pela antena receptora, o sinal de RF do satélite se rã trasladado para uma frequência intermediária na faixa de VHF por meio de um misturador de micro-ondas a diodo.

As características mais importantes de um misturador são seu fator de ruído e seu ganho de conversão. A maior contribuição para o fator de ruído to tal do sistema ocorre no misturador; deve-se pois escolher um misturador que tenha o menor fator de ruído intrínseco compatível com as exigências de baixo custo para a unidade receptora completa. O fator de ruído do bloco formado pe lo misturador e pelo amplificador de FI é dado pela seguinte expressão:

$$\begin{aligned} NF &= 10 \log \left[L_m t_m + (F-1) L_m \right] \\ &= 10 \log L_m (F + t_m - 1) \end{aligned}$$

L_m = perda efetiva de conversão do misturador expressa por uma relação

t_m = relação efetiva da temperatura de ruído do misturador

F = fator de ruído do amplificador de FI expresso por uma relação.

Apesar de L_m e t_m não serem características intrínsecas do diodo usado, elas dependem do diodo e da configuração do misturador empregados. Assim, t_m pode ser expresso por uma função de L_m e da relação de temperatura intrínseca de ruído t_d do diodo:

$$t_m = \frac{1}{L_m} t_d (L_m - 1) + 1$$

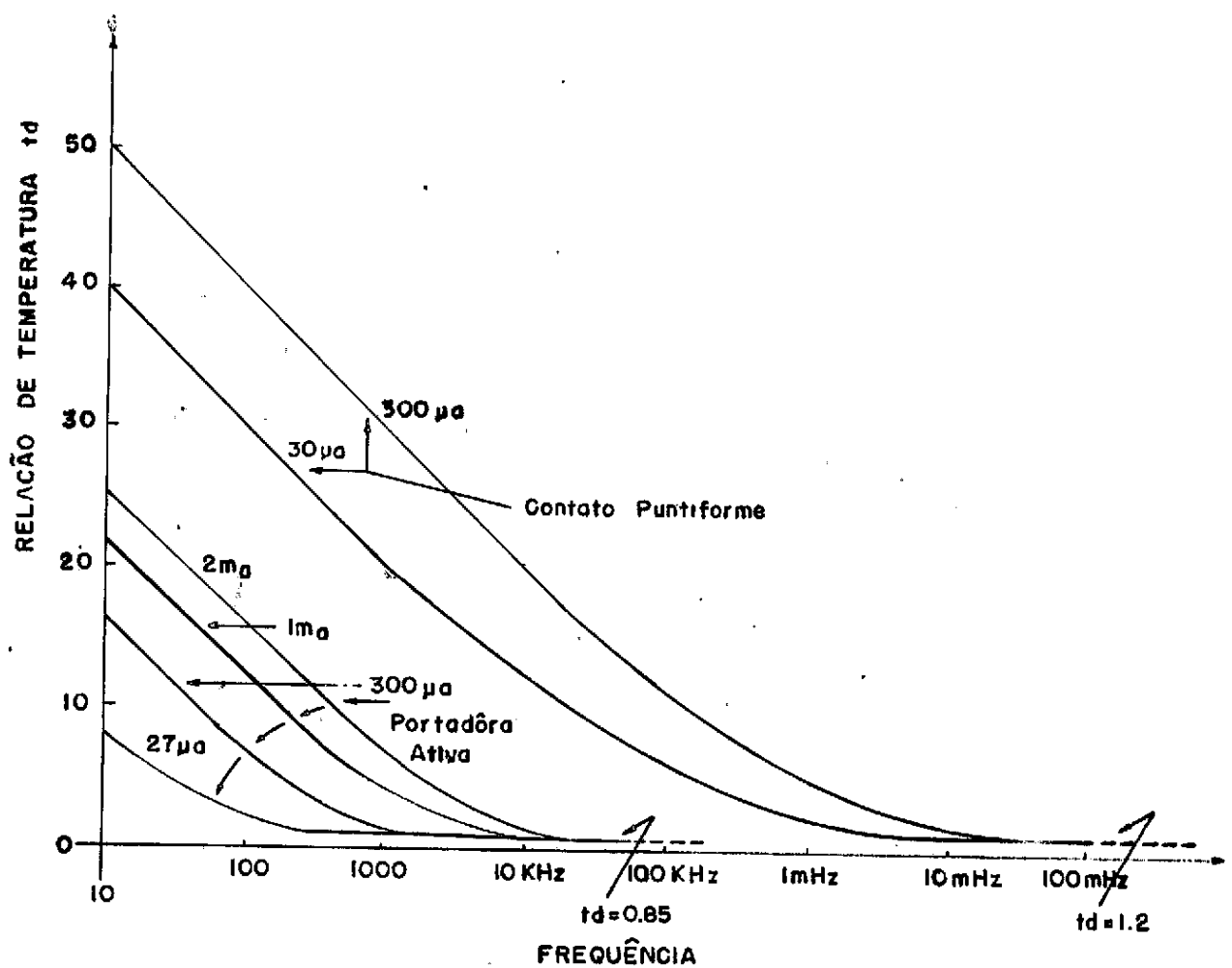


Fig. 3-20. RELACÃO DE TEMPERATURA EM FUNÇÃO DE FREQUÊNCIA

A relação de temperatura de ruído do diodo t_d é independente da frequência de operação do misturador mas depende da corrente de polarização do diodo e também da frequência de FI. A figura 3-20 mostra a variação de t_d com a frequência de FI em vários valores da corrente do diodo para duas classes de diodos largamente usados nessas aplicações: o diodo do contacto puntiforme (p.e., as séries 1N21) e o diodo de efeito Schottky ou de portadora ativa.

O diodo de portadora ativa é superior em performance ao tipo de contato puntiforme.

forme em todas as faixas de frequência de FI. A razão de temperatura tende assintoticamente para um valor fixo, o qual no caso do diodo 1N21G é 1,2 e para um diodo de portadora ativa típico como o HP2305 é 0,85. A perda de conversão do misturador a diodo dependerá fortemente das características intrínsecas do próprio diodo (características $V-I$ direta e reversa), e do nível do oscilador local. São valores típicos para a relação de perda de conversão 2,3 para o diodo de portadora ativa, e 2,7 para o tipo contato pontiiforme. Estas considerações e mais o fato que o diodo de portadora ativa necessita menos potência do oscilador local para operação ótima, sugere que esse diodo seja usado no misturador. Um valor típico de potência de excitação do oscilador local para o diodo de portadora ativa é 1mW, o que é muito conveniente pois um preço baixo é de importância fundamental. Assim, usando um diodo de portadora ativa para o misturador tendo 2,3 como perda de conversão e 0,83 como relação intrínseca de temperatura de ruído:

$$t_m = 0,92$$

Para um amplificador de FI com uma relação de fator de ruído $F = 2$ (3dB), o fator de ruído total do bloco é:

$$NF = 6,5 \text{ dB}$$

que é um valor razoável para o sistema.

Existem somente dois requisitos na relação entre o misturador e o amplificador de FI: (1) os níveis de impedância devem ser apropriadamente escolhidos para um fator mínimo de ruído, e (2) a frequência intermediária escolhida deve ser acima de 100 KHz de maneira que a relação intrínseca de temperatura de ruído fique independente da frequência. Ambos os requisitos são facilmente

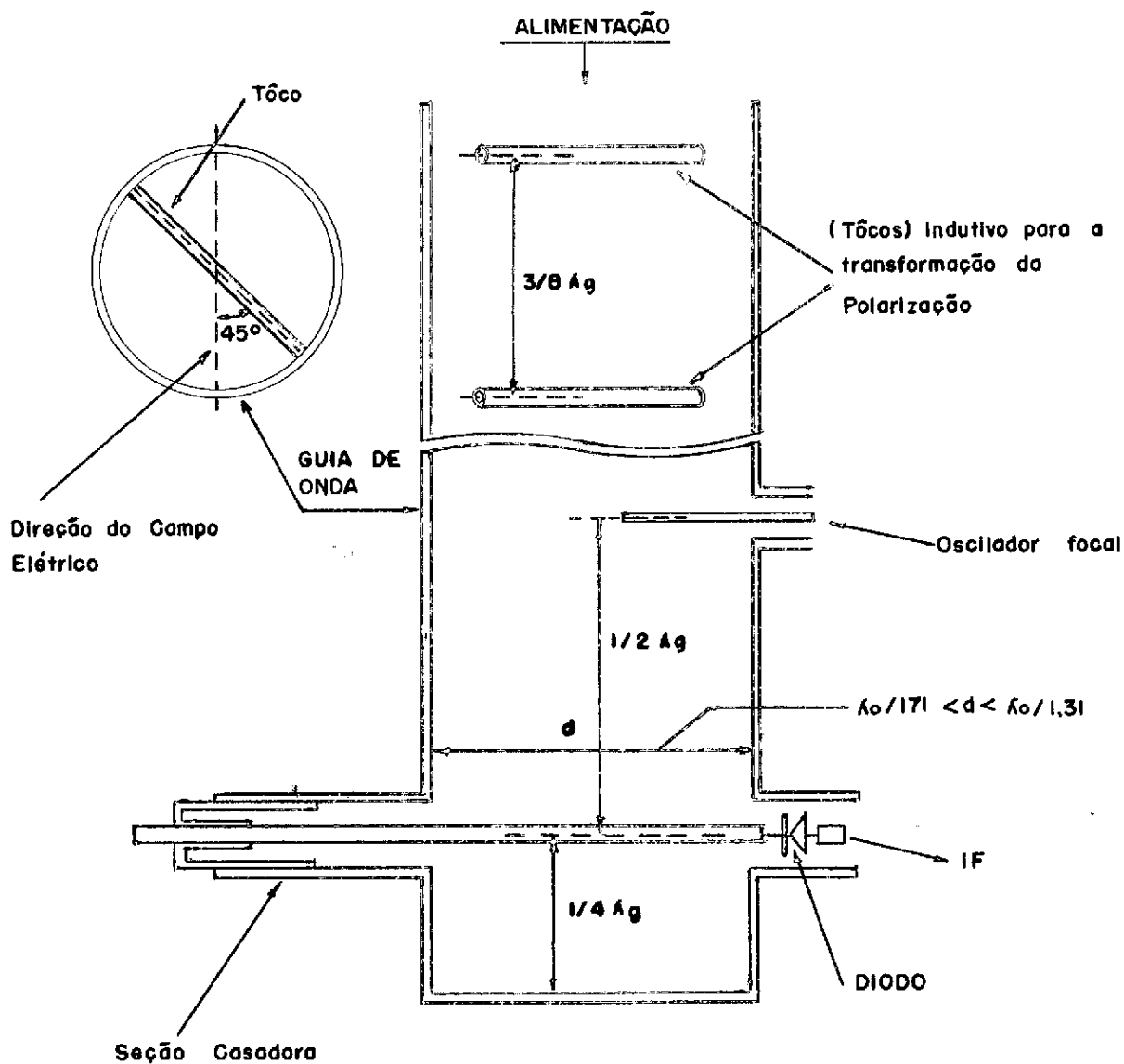


Fig. 3-21a. DETALHES DA CAVIDADE MISTURADORA DE MICROONDAS

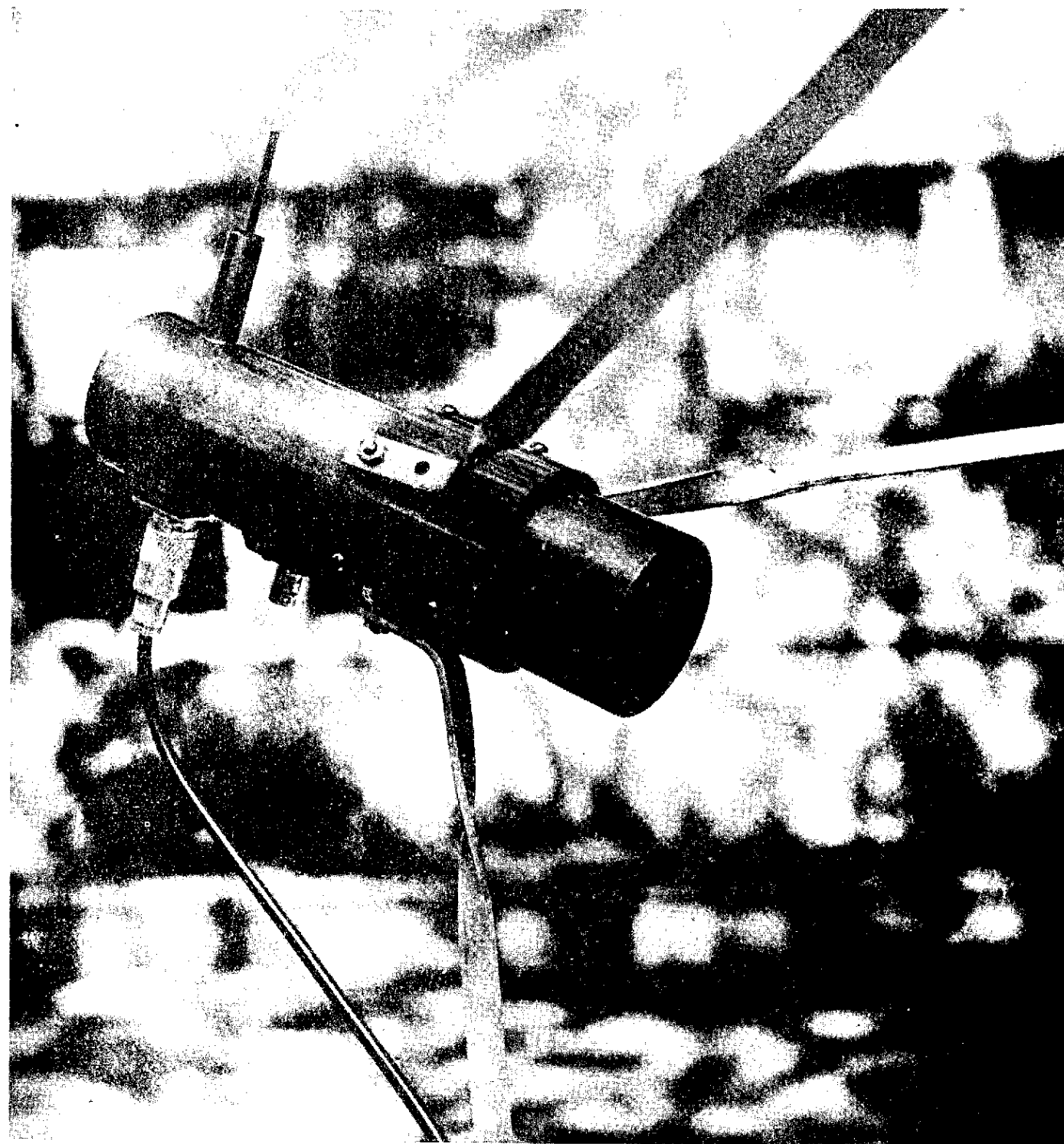


Fig. 3-2.b. VISTA DA CAVIDADE MISTURADORA

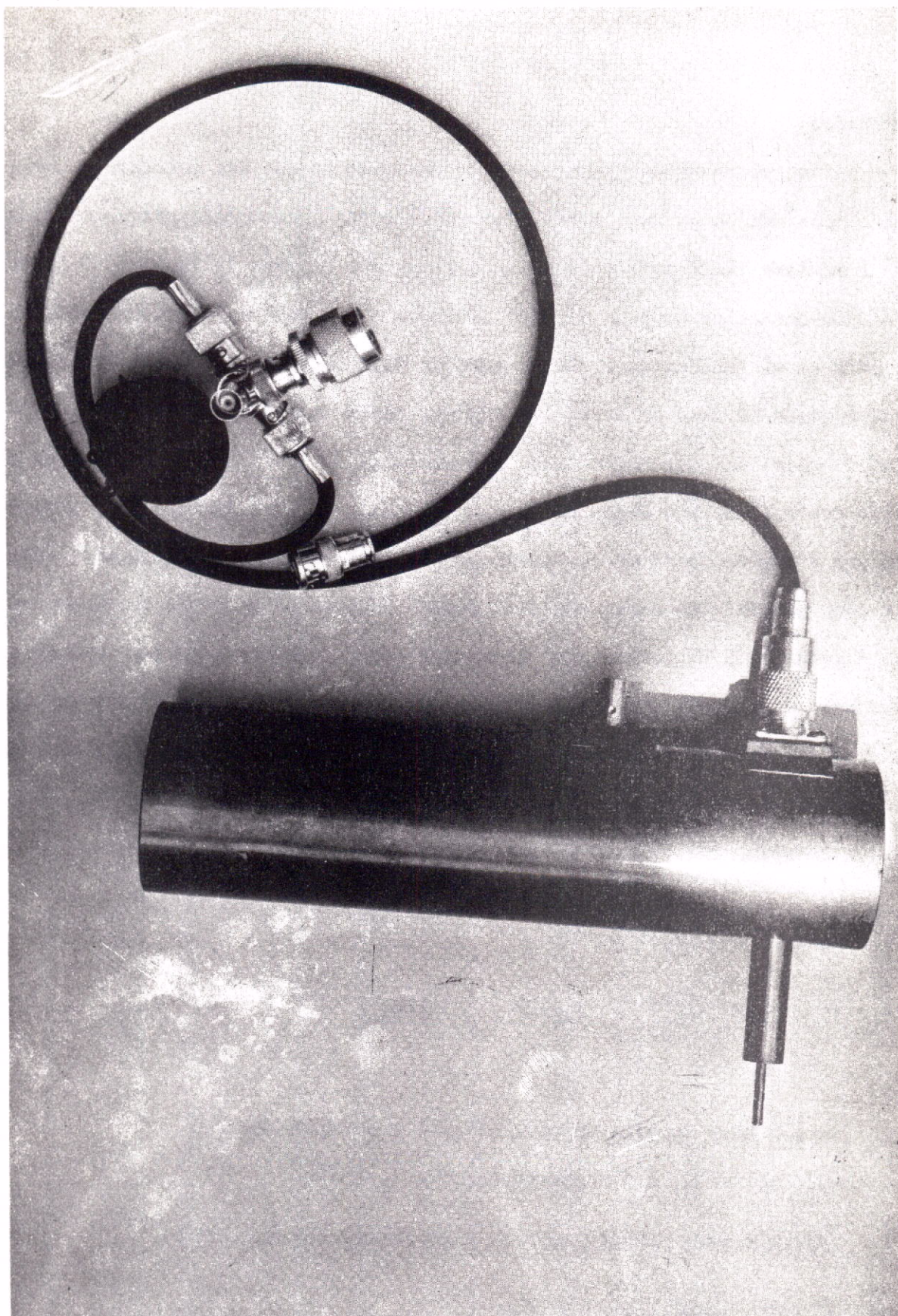


Fig. 3-21c CAVIDADE DO GUIA DE ONDA MISTURADOR E O DISCRIMINADOR

preenchidos.

Para obter melhor rendimento, o misturador deve ser colocado o mais próximo possível da antena. A configuração é muito conveniente porque o misturador é montado exatamente no foco da antena (ver figuras 3-21a,b,c). O diodo é colocado dentro de um guia de onda cilíndrico excitado no modo dominante ou TE_{11} pelo sinal incidente. O uso do guia de onda cilíndrico é uma conveniência porque é feito de cano de bronze de tamanho padrão que é menos caro que o material de guias de onda comerciais. A impedância do diodo é casada com o guia de onda por meio de uma seção de um cabo coaxial com um curto circuito deslizando que é também mostrado na figura. O oscilador local é acoplado por meio de um tóco paralelo ao campo elétrico dentro do guia em um ponto de campo máximo. A quantidade de potência do oscilador local injetada pode ser variada a justando-se a profundidade desse tóco no guia de onda. No dimensionamento do guia de onda, deve-se tomar cuidado de excitar somente o modo TE_{11} e nunca os de ordem mais elevada. O modo seguinte de ordem mais elevada após o TE_{11} é o TM_{01} . Os comprimentos de onda de corte desses dois modos são dados por:

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{P'_{11}} = 3,41 a \quad (TE_{11})$$

$$\lambda_c = \frac{2\pi a}{P_{01}} = 2,61 a \quad (TM_{01})$$

onde

a é o raio do guia de onda, P'_{11} é a primeira raiz de $J'_0(Ka)$ e P_{01} é a primeira raiz de $J_0(Ka)$.

Assim o raio do guia de onda deve satisfazer a relação:

$$\frac{\lambda}{3,41} < a < \frac{\lambda}{2,61}$$

Como a polarização do sinal incidente do satélite é circular, deve ela ser transformada em polarização linear dentro do guia de onda. Isto é feito mediante dois tôcos montados dentro do guia de onda (Fig. 3-21). Se a susceptância indutiva de cada tôco é duas vezes a admitância característica do guia de onda e eles estão separados por três oitavos do comprimento de onda guiado, eles produzirão a diferença de fase de 90° necessária entre as duas componentes linearmente polarizadas da onda circularmente polarizada. O resultado será uma onda linearmente polarizada cujo campo elétrico está a 45° da direção dos tôcos indutivos [14].

3.4.2 Oscilador Local

O oscilador local para esse conversor deve ser capaz de fornecer cerca de 1 mW de potência em 4GHz. Diversas configurações são possíveis para melhorar esse elemento conversor. O critério para decidir qual o tipo a usar é a conciliação entre o custo e a estabilidade da frequência. Dada uma necessidade moderada de estabilidade de uma parte em 10^4 (0,4MHz em 4GHz), o oscilador pode ser construído com um transistor numa cavidade sintonizada na faixa de 0,5 a 1 GHz. Este sinal é então multiplicado por um multiplicador a diodo de recuperação de degrau para 4GHz. Pode ser usado um sistema de realimentação para controle automático de frequência para ajudar a manter a estabilidade. A figura 3.22 mostra o diagrama esquemático desse oscilador-multiplicador. A cavidade sintonizada fornece um alto Q que é o fator determinante na estabilidade de frequências em grandes períodos.

Existe um aparelho da Texas Instruments, o TIS71, que oscila dire

tamente em 4GHz com uma potência de saída de 10mW, mas este método direto não é tão estável quanto o método do oscilador-multiplicador [15]. Idealmente, o oscilador local deveria usar um cristal de quartzo cuja baixa frequência fundamental seria multiplicada por cadeias de transistor-varactor ou por um multiplicador a diodo de recuperação de degrau. Mas o custo adicional e a complexidade destas montagens não as tornam atrativas.

3.4.2.1 Estimativa de Custo

O oscilador a transistor e o multiplicador de frequências a diodo de recuperação de degrau mostrado esquematicamente na Fig. 3.23 foi escolhido para esta estimativa. Os componentes de estado sólido nestas unidades, como transistores, diodos misturadores, etc, são presentemente as partes simples de mais alto preço. Com base em experiências prévias, é de esperar-se que os preços atuais caiam consideravelmente nos próximos anos. Assim, o custo estimado para o misturador e o oscilador local é baseado na queda esperada do preço. Usando um fator de 4 vezes o custo das partes para obter o preço final, o custo é o seguinte:

	Unidade	Preço US\$
Misturador:		
	Díodo -----	2.50
	Condutores e Conectores -----	3.50
	Total -----	24.00
Oscilador:		
	Transistor e outras partes -----	5,00
Multiplicador:		
	Díodo e outras partes -----	5,00
	Total -----	40,00

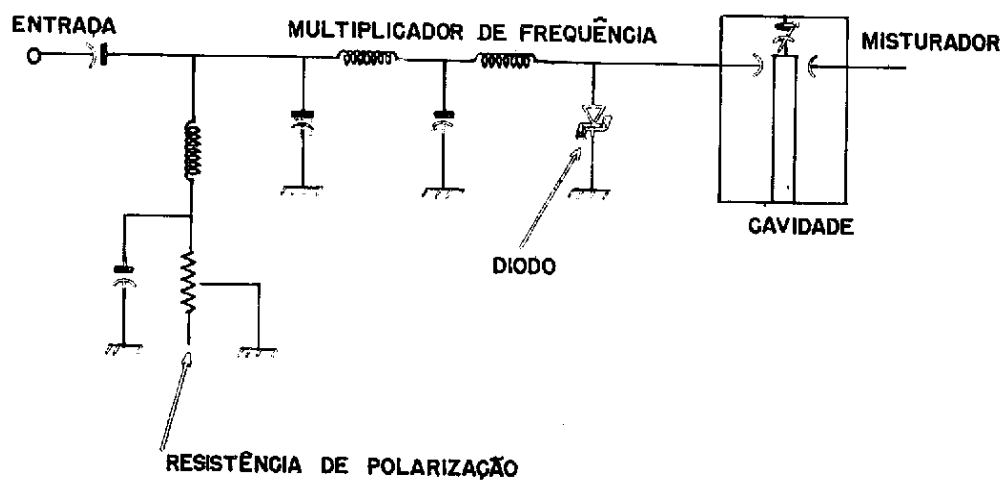
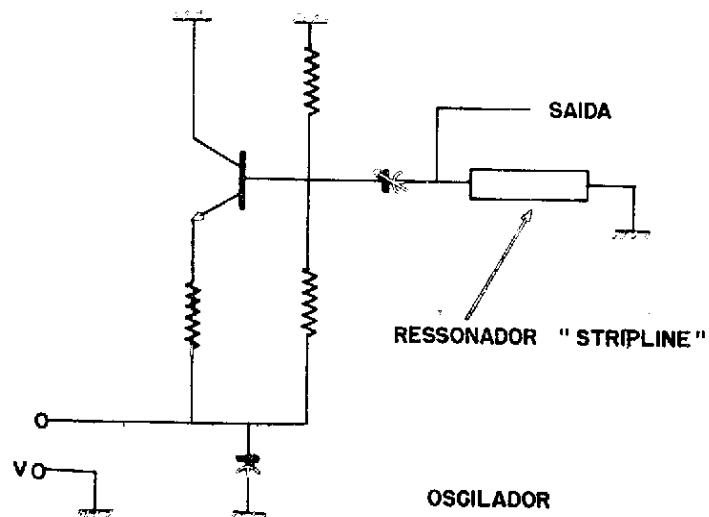


Fig. 3-22. ESQUEMA DO OSCILADOR E DO MULTIPLICADOR DE FREQUÊNCIA.

3.4.3 Amplificador de FI

O amplificador de FI consta de um pr amplificador de baixo ru ido e de um par de amplificadores de um canal, de alto ganho (ver Fig. 3.23). O pr amplificador de baixo ru ido casa a impedância de sa ida do misturador e fornece ganho suficiente para diminuir a influência do ru ido nos estágios seguintes. O restante do amplificador fornece o ganho adicional necessário para limitar os canais de TVE e seletividade suficiente para separá-los. As características do amplificador de FI estão na Tabela 3.8.

A figura 3.24 mostra o espectro de frequências de micro-ondas e FI. A sele o de uma frequência central de 76,6 MHz coloca grande parte do espectro da imagem em partes do espectro de micro-ondas não usado pelo sistema; assim a interferência da imagem   minimizada. O uso de frequências abaixo de 150 MHz

Tabela 3.8

CARACTERÍSTICAS DO AMPLIFICADOR DE FI

Pr�amplificador:	
Fator de ru�ido -----	3 dB máximo
Largura de Faixa -----	65 MHz
Ganho em Potência -----	30 dB
Amplificadores FI de um canal:	
Largura de Faixa -----	30 MHz
Frequências Centrais:	
Canal 1 -----	60 MHz
Canal 2 -----	93,2 MHz
Ganho em Potência -----	50 dB por canal
Rejei�o do canal adjacente -----	15 dB

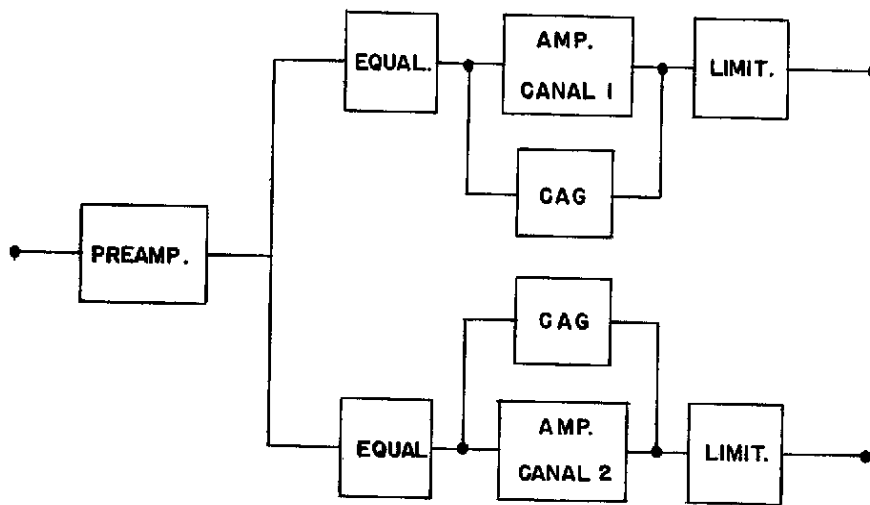
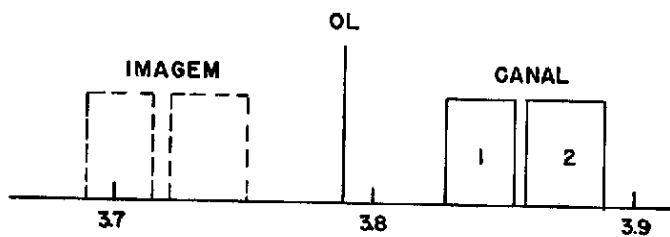


Fig. 3-23. DIAGRAMA DE BLOCOS DO AMPLIFICADOR DE FI.



ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DE TVE EM MICRO-ONDAS

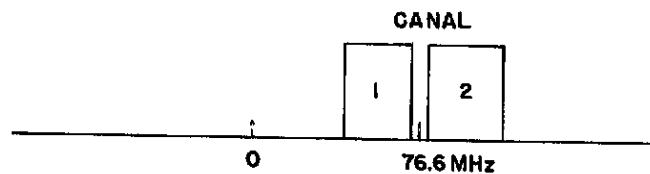


Fig. 3-24. ESPECTRO DE FREQUÊNCIA EM MICRO-ONDAS E FI.

permite o uso de transistores baratos e circuitos integrados para RF. Os circuitos integrados oferecem alto ganho, baixa realimentação interna, e poucas conexões externas pois têm os circuitos de polarização internos. Seu custo é agora comparável ao dos transistores simples e espera-se que diminua ainda mais. Estas características torna-os atrativos para equipamentos de comunicações confiáveis e de baixo custo.

A perda de conversão de um sistema amplificador-misturador é dada por

$$L_m = L + \left[10 \log \frac{(S_2 + 1)^2}{4 S_2} \right] \quad (1)$$

onde L representa a perda total devida ao não casamento na entrada de micro-ondas e perdas devidas à junção diodo. O termo entre parênteses é a perda devida ao não casamento entre o misturador e o préamplificador. S_2 é a razão de onda estacionária em voltagem (VSWR) na entrada de FI.

O fator de ruído do sistema préamplificador-misturador é dado por

$$NF = 10 \log L_m + 10 \log (F_{FI} + t_m - 1) \quad (2)$$

onde

L_m = perda efetiva de conversão no misturador

t_m = relação efetiva da temperatura de ruído no misturador

F_{FI} = fator de ruído no amplificador de FI

É evidente que um bom casamento é muito importante para minimizar o fator de ruído global.

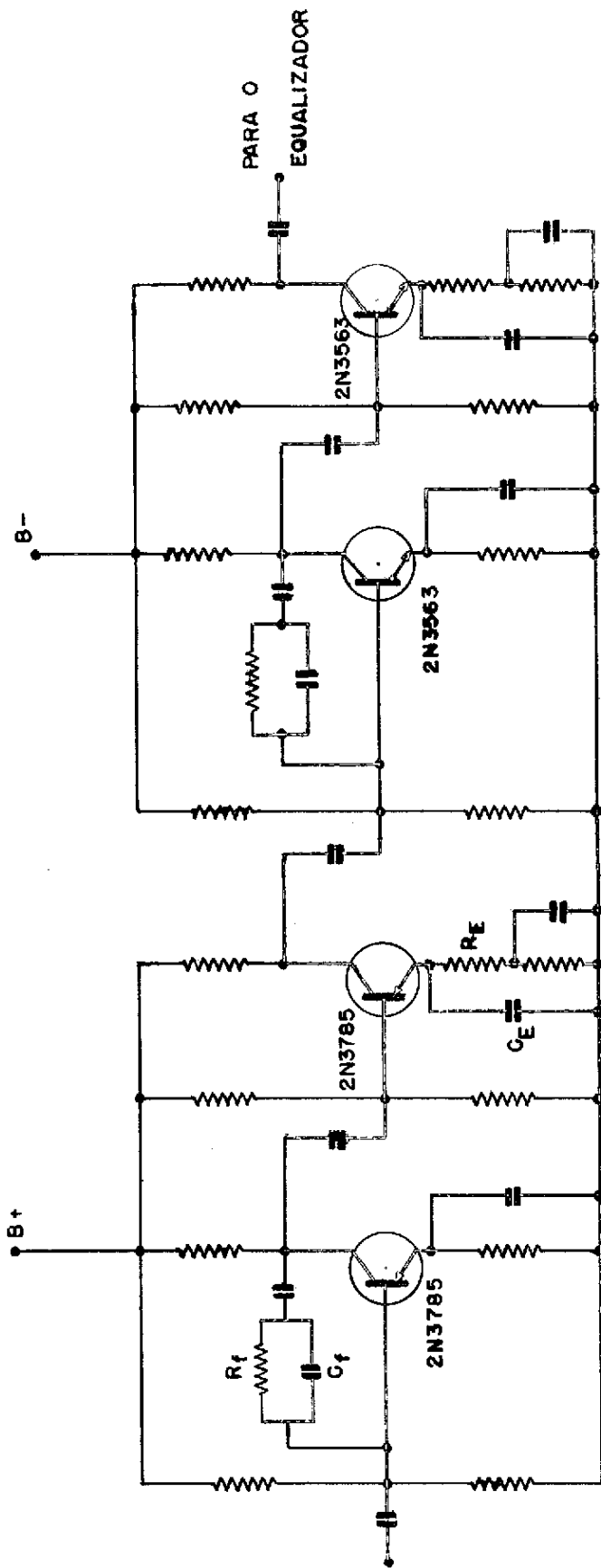
3.4.3.1 Prêamplificador de Baixo Nível de Ruído

Como o prêamplificador não precisa ter alta seletividade, pode ser feita uma montagem com acoplamento RC de baixo custo. A Figura 3.25 mostra o diagrama esquemático do prêamplificador. O circuito usa dois pares de realimentação cada um deles consistindo de um amplificador realimentado em paralelo seguido por um amplificador realimentado em série. As vantagens principais do uso deste sistema são: a possibilidade de obter o fator de ruído desejado mediante a seleção criteriosa dos dois primeiros transistores; pode ser obtido ao mesmo tempo um bom casamento de impedâncias entre a FI e o misturador sem o uso de uma rede de acoplamento. Também são possíveis altos produtos ganho-largura de faixa (3).

A performance do circuito não é sensível à variação dos parâmetros do transistor, o que facilita a produção desses circuitos em grande escala. Como são usados somente resistores e condensadores fixos, o circuito é pouco dispendioso.

O ganho em potência do primeiro par de transistores é 15 dB, o que permite o uso de transistores baratos com grandes fatores de ruído nos estágios seguintes.

A característica de fase do prê-amplificador não é boa e um igualador de fases é necessário à obtenção das características adequadas, de atraso de fase. Serão usados dois desses equalizadores (um para cada canal) de maneira a compensar a resposta de fase dos amplificadores de canal simples.



Fator de ruído = 3dB máximo
 Largura de faixa, plana = de 20 a 120 MHz
 Ganho de potência = 30 dB

Custo dos Componentes = \$4,95
 Custo total = \$19,80

Fig. 3-25. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO PRÉ-AMPLIFICADOR DE BAIXO RUÍDO

O baixo fator de ruído, a impedância de entrada, e as características de faixa larga requeridas pelo pré-amplificador de baixo ruído, são obtidas escolhendo-se cuidadosamente os transistores para o amplificador. As condições a serem preenchidas pelo pré-amplificador são as seguintes:

Impedância de entrada-----	120-180 Ω
Fator de Ruído -----	3dB máximo
Largura de Faixa-----	65,0 MHz
Frequência Central -----	76,6 MHz
Ganho -----	30 dB

A equação (2) está plotada na Fig. 3-26 para os parâmetros do misturador $L_m = 2,3$ e $t_m = 0,92$. Daí, resulta que o fator de ruído é de 3dB para o pré-amplificador, deixando uma margem de cerca de 0,4 dB.

A figura 3.27 mostra as relações entre o fator de ruído total, o ganho do primeiro par, e o fator de ruído dos estágios seguintes. Para um ganho do primeiro par igual a 15 dB o fator de ruído desse par deve ser 2, 8 dB e o fator de ruído do segundo par deve ser 6,2 dB para fornecer um fator de ruído de entrada de 3 dB.

A fim de obter a necessária faixa de passagem usando as técnicas de realimentação RC, devem ser escolhidos transistores com um produto ganho-largura de faixa moderadamente grande. Para os dois primeiros estágios foi escolhido o transistor 2N3785. Para $I_c = -3mA$ e $V_{ce} = -10V$, suas características são:

Fator de Ruído = 2, 1 dB (para uma resistência da fonte
 $R_s = 120\Omega$)

f_T = 1000 MHz

Ganho de Potência = 18 dB (mínimo em 200 MHz)

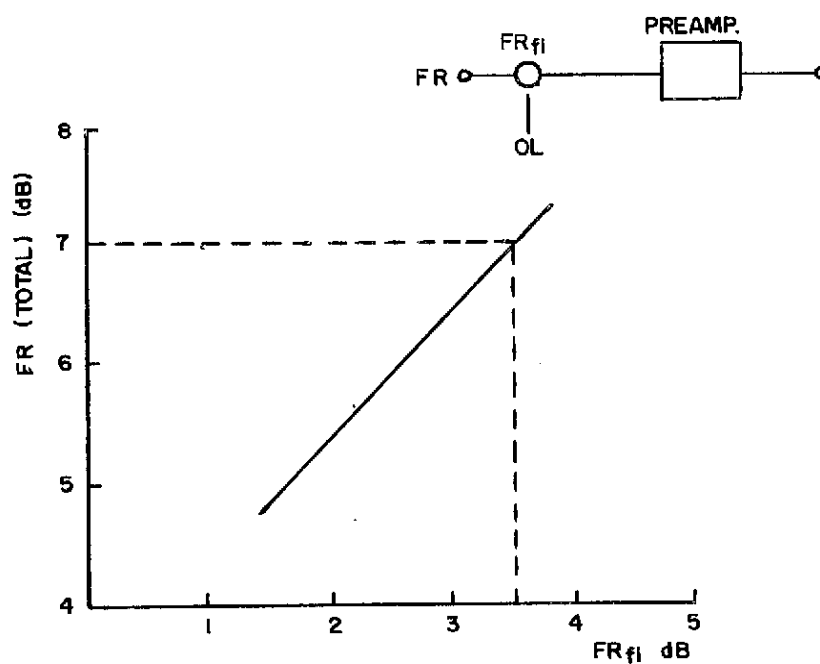


Fig.3-26. FATOR DE RUÍDO DO SISTEMA PRÉ-AMPLIFICADOR-MISTURADOR EM FUNÇÃO DE FATOR DE RUÍDO DO PRÉ-AMPLIFICADOR DE FI.

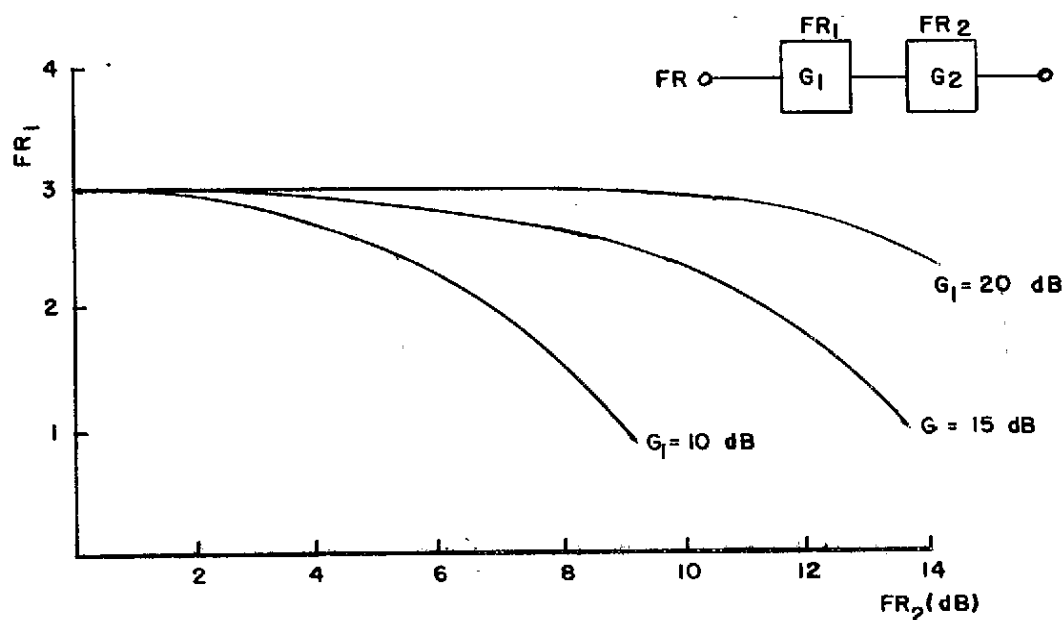


Fig.3-27. CURVAS DE FR=3 dB CONSTANTE PARA AMPLIFICADORES EM CASCATA.

Para os estágios seguintes foi escolhido o transistor 2N3563. Para $I_C = 3\text{mA}$ e $V_{CE} = 6\text{V}$, suas características são:

Fator de Ruído = 5 dB, para R_s grande, de ordem de $1\text{K } \Omega$

f_T = 800 MHz

Ganho em Potência = 14 dB mínimo em 100 MHz

A escolha de um transistor de baixo ruído não é suficiente para assegurar que o circuito terá um fator de ruído baixo. Devido ao tipo de realimentação usado ocorrerá um aumento do fator de ruído e da largura de faixa.

Para estimar o aumento do fator de ruído, um amplificador ruidoso pode ser representado por uma fonte de ruído de corrente e uma fonte de ruído de voltagem, seguidas por um amplificador sem ruído. O fator de ruído é dado por (2)

$$F = \frac{E_n^2 + R_s^2 I_n^2 + 1 + 2\rho \overline{E_n I_n}}{4 R_s KTB}$$

onde

I_n, E_n = fontes equivalentes de ruído de corrente de voltagem, respectivamente

R_s = Resistência da fonte (neste caso, resistência do misturador) = 120 a 180 Ω

ρ = coeficiente de correlação (varia de 0 a 1)

T = temperatura efetiva do amplificador em $^{\circ}\text{K}$

B = largura de faixa

K = constante de Boltzman

Um amplificador com realimentação em paralelo, semelhante ao usado no primeiro estágio produzirá um ruído adicional que pode ser representado por uma entrada não correlacionada de corrente de ruído dada por (3).

$$I_{\delta}^2 = \frac{KTB}{R_f}$$

onde R_f é a resistência de realimentação do primeiro estágio.

O fator de ruído total será então

$$F_{\theta} = F + \frac{R_{\delta}}{R_f}$$

Esta expressão pode ser usada para calcular um limite inferior para R_f . Para um aumento no FR de 0,4dB o valor de R_f não deve ser menor que 11,5 K Ω .

Cálculos feitos para o primeiro estágio mostram que para o transistor 2N3785 pode ser obtida uma impedância de entrada de 180 Ω com uma resistência de realimentação $R_f = 28\text{K}\Omega$ e $C_f = 0,5$ pF o que fornece uma largura de faixa de 246 MHz. Estes cálculos mostram que as características esperadas do circuito podem ser obtidas através de um projeto cuidadoso.

No segundo par, será necessário mais realimentação para obter as características desejadas pois o f_{te} dos transistores é menor; mas neste estágio a impedância de entrada e o ruído não são problemáticos, podendo aplicar-se a realimentação necessária. Os capacitores de acoplamento entre os estágios são escolhidos para limitar a resposta do circuito em frequência abaixo de 20 MHz.

O uso de transistores de efeito de campo (FET) é uma alternativa para o projeto do préamplificador de baixo ruído, mas não se obtém uma redução

de custo sobre os transistores de baixo ruído. Os transistores de efeito de campo oferecem a possibilidade de obter fatores de ruído mais baixos. O FET 2N3823 tem um FR de 2 dB em 100 MHz, e custa US\$ 8,60 em lotes de 1000. Os transistores de efeito de campo têm como desvantagem a alta impedância de entrada; e a rede de acoplamento com o misturador irá estragar suas características de baixo ruído.

3.4.3.2 Amplificadores FI de Canal Simples

A figura 3.28 mostra o circuito para os amplificadores de canal simples no qual são usados os circuitos integrados CA 3005. As características principais dos circuitos integrados CA 3005 (Fig. 3.29) são:

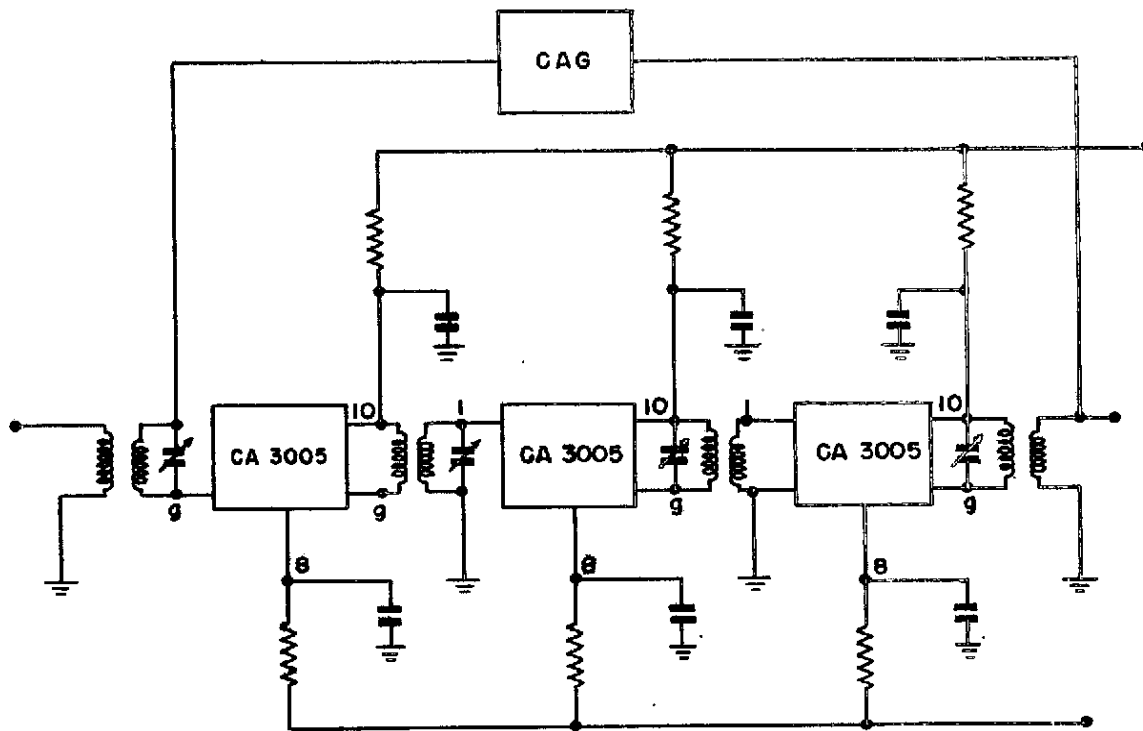
FR = 7,8 dB em 100 MHz

Ganho de Potência = 18 dB em 110 MHz

Faixa de CAG = -60 dB

Como resultado da melhoria de FM do sinal desejado, uma rejeição de 15 dB do canal não desejado é suficiente. Devido ao seu vantajoso produto ganho-largura de faixa propõem-se os circuitos sintonizados escalonadamente (stagger-tuned). São necessários quatro destes circuitos totalizando três circuitos integrados. Como cada estágio é capaz de produzir até 18 dB de ganho em potência, a potência total do amplificador será 50 dB, deixando uma margem de 4 dB e fornecendo um sinal de saída de 1,66 mW.

Não são esperadas grandes variações no nível do sinal pois grande parte dos efeitos atmosféricos diminuem quando o ângulo de elevação das ante



Ganho em potência 50 db
 Largura de faixa 30 MHz
 Custo dos componentes $\$4,28 \times 4 = \$17,12$

Fig.3-28. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO AMPLIFICADOR F1 DE CANAL SIMPLES.

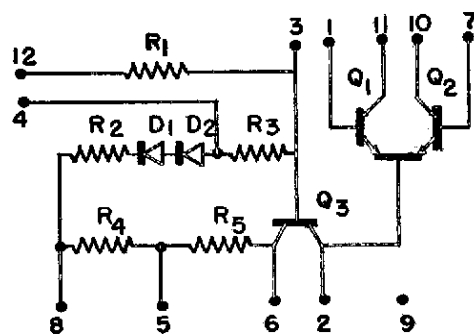


Fig.3-29. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO CIRCUITO INTEGRADO CA 3005.

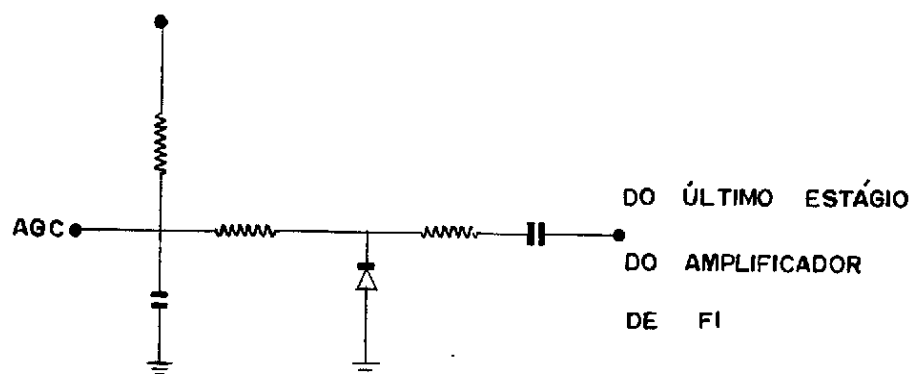


Fig. 3-30. CIRCUITO TÍPICO DE CAG

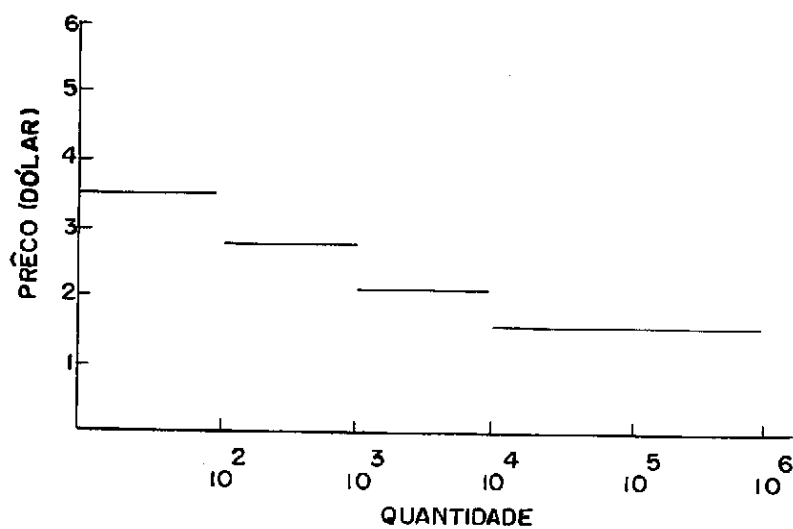


Fig. 3-31. VARIAÇÃO DO PREÇO DO CIRCUITO INTEGRADO MC1550G.

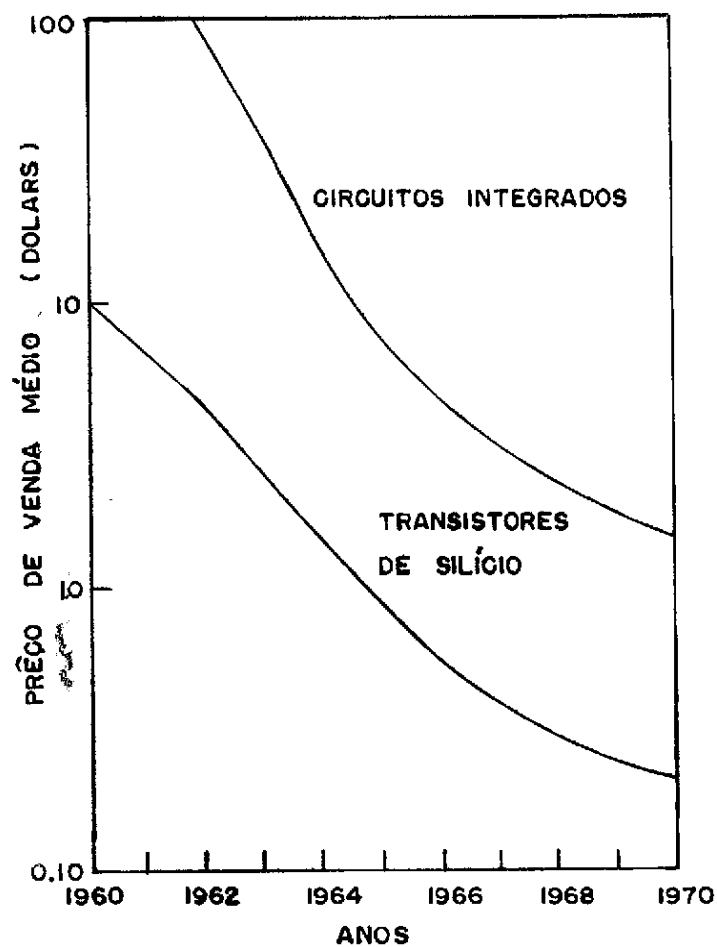


Fig. 3-32 PREÇO DE VENDA MÉDIA DA INDÚSTRIA MUNDIAL [6]

A Tabela 3.9 dá o custo estimado encontrado, usando os circuitos das figuras 3.25, 3.29, 3.30 e 3.33 para estimar os custos dos componentes.

nas aumenta. Ainda aqui, será mais que suficiente uma mudança de 10 dB para compensar as variações do sinal. Um nível de CAG é gerado na saída do último estágio de FI e aplicado ao primeiro estágio de FI. Uma variação de 10 dB no CAG pode ser facilmente obtida por um circuito passivo de CAG como o que está mostrado no Fig 3.30.

Os circuitos integrados CA 3005 podem ser conectados em configuração diferencial ou em "cascode". O segundo método dá um ganho maior, mas o primeiro método necessita de menor voltagem para produzir a variação de 10 dB no CAG. Por esta razão o primeiro estágio é conectado numa configuração diferencial, requerendo somente + 0,08 volt para uma redução de ganho de 10 dB. Isto irá permitir o uso de um circuito passivo de CAG como o da Fig. 3.30.

Para estimar o preço dos componentes, foram admitidas quantidades superiores a 100.000 unidades. Também foi suposto que a produção do adaptador será iniciada em 1970.

A Figura 3.31 mostra a variação do preço com a quantidade para o circuito integrado MC 1550G. Esta curva é típica e foi usada para o CA 3005.

A figura 3.32 mostra a variação do preço com o tempo. Esta curva também é usada para estimar o preço dos semicondutores usados em nosso projeto. Apesar do 2N3785 ser um transistor de germânio, sua curva é semelhante à dos transistores de silício; isto é confirmado considerando que os preços para 1965 são o dobro do preço para 1967. Não foram computadas variações com o tempo para os componentes passivos. Foi usado um fator de 4 sobre o preço do componente para cobrir os custos de produção, empacotamento, e qualquer incerteza na estimativa dos preços.

Tabela 3.9

CUSTOS ESTIMADOS DOS COMPONENTES E UNIDADES

Componentes	Custos/100.000	Custo em 1970
Resistências	US\$ 0.03	US\$ 0,03
Capacitores Fixos	0.05	0,05
Circuitos Sintoni- zados (Transforma- dores de RF inclu- indo capacitores variáveis)		
2N3785	2.80	1,50
CA3005	0.95	0,60
2N3563		0,30
DIODO		0,10

Unidade	Custo US\$
Prê-amplificador de baixo ruído	4,95
Dois amplificadores de FI	8,56
Dois circuitos de CAG	0,64
Dois limitadores	1,82
Conectores e chapa	1,20
	17,17

Custo final = US\$ 17,17 x 4 = US\$ 68,68

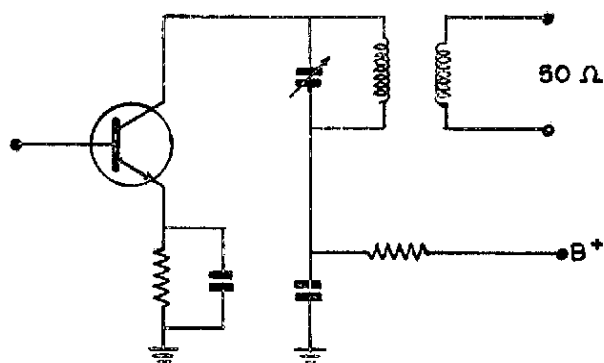


Fig. 3-33 CIRCUITO LIMITADOR TÍPICO

3.4.4 Discriminador de Faixa Larga

A procura de um discriminador de faixa larga, barato, resultou na adoção de um aparelho muito simples que consiste de uma linha coaxial de atraso, um conector de 4 entradas, e um detetor. A idêia dêste discriminador é de John E. Winter do Systems Techniques Laboratory na Universidade de Stanford. Este aparêlho fornece uma resposta de amplitude linear às mudanças na frequência com sômente 3 por cento de não-linearidade na amplitude para uma relação entre a largura de faixa do prêamplificador e a frequência central de 1:2; fornece tanbém a largura de faixa de vídeo necessária de 5 MHz.

3.4.4.1 Princípios de Operação

A figura 3.34 dá uma idêia da simplicidade do discriminador. A figura 3.35 mostra esquemáticamente o T de 4 entradas e um diagrama vetorial para es

clarecer a explicação da linearidade do discriminador.

O sinal de entrada, designado por $E_{in} \angle 0$ (isto é, amplitude E_{in} e desvio de fase nulo), é dividido no T de 4 entradas. Como a impedância nas quatro entradas é Z_0 (50 Ω), um quarto da potência, ou metade da voltagem é enviado em cada entrada. Após τ segundos (determinado pelo comprimento da linha de retardo), a voltagem defasada ($1/2 E_{in} \angle -\omega_i \tau$) das entradas ② e ③ entram no T após ter passado pela linha de retardo. As ondas indo para o detector e voltando para a fonte são terminadas em 50 Ω . A potência de cada uma das duas ondas é novamente dividida igualmente em quatro partes. As voltagens resultantes estão na Tabela 3-10.

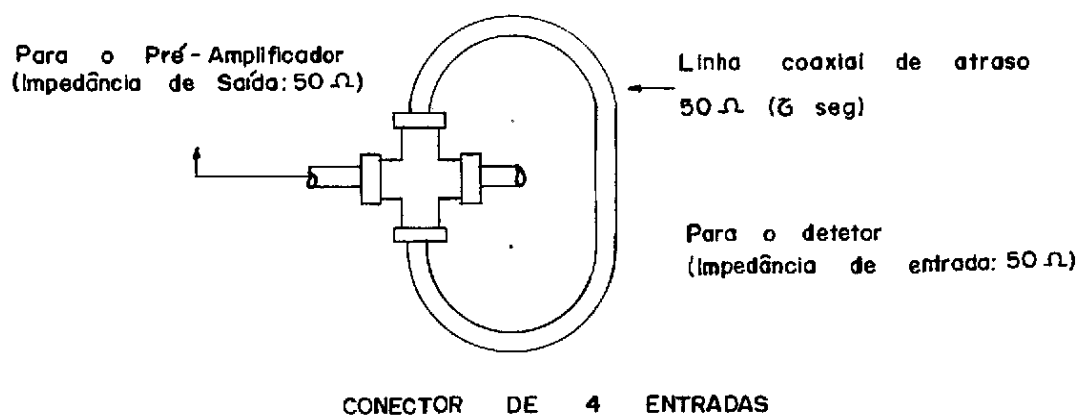


Fig. 3-34. DESENHO DO DISCRIMINADOR DE "4 ENTRADAS"

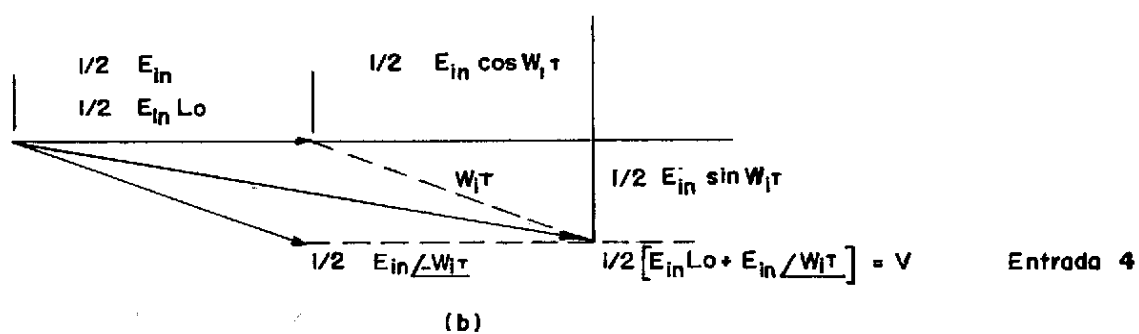
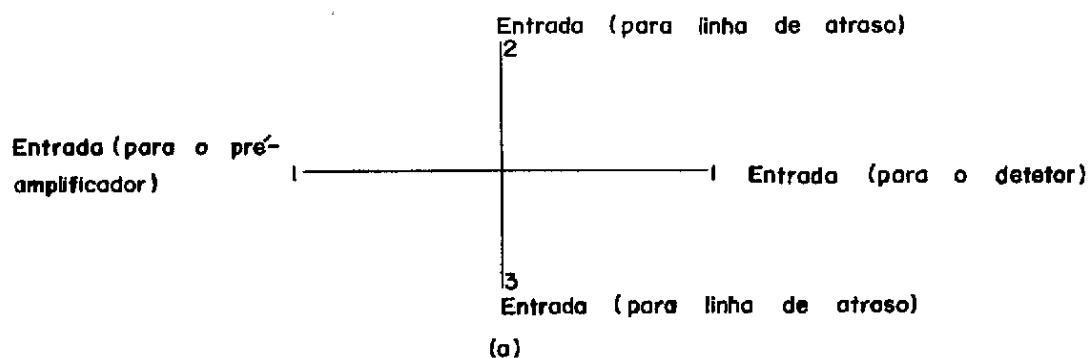


Fig. 3-35. ESQUEMA DO CONECTOR DE 4 ENTRADAS (a) E DIAGRAMA DE FASE DA VOLTAGEM NO DETETOR (b)

Tabela 3.10

AMPLITUDE DE VOLTAGEM NAS ENTRADAS DO DISCRIMINADOR

Entrada Nº	Amplitude de Voltagem (Direção da Onda)	
	Fora do T	Dentro do T
1	$-\frac{1}{2} E_{in} \angle 0 + \frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau +$ $\frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau = \frac{1}{2} \left[-E_{in} \angle 0 + E_{in} \angle -\omega_i \tau \right]$	$E_{in} \angle 0$
2.3	$\frac{1}{2} E_{in} \angle 0 + \frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau - \frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau$ $= \frac{1}{2} E_{in} \angle 0$	$\frac{1}{2} E_{in} \angle -\omega_i \tau$
4	$\frac{1}{4} E_{in} \angle 0 + \frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau + \frac{1}{4} E_{in} \angle -\omega_i \tau$ $= \frac{1}{2} \left[E_{in} \angle 0 + E_{in} \angle -\omega_i \tau \right]$	0

Assim, quando o sinal na entrada (4) é detetado quadraticamente,

$$E_{out} = \frac{1}{2} E_{in}^2 \eta \left[1 + \cos 2\pi f_i \tau \right]$$

onde η é a atenuação do detetor, f_i é a frequência instantânea, e τ é o atraso (ver Fig. 3.36).

Quando detetado linearmente, a saída fica:

$$E_{out} = \frac{E_{in}}{\sqrt{2}} \left[1 + \cos 2\pi f_i \tau \right]^{1/2}$$

Ambas as funções são aproximadamente lineares com a frequência na região de

$$2\pi f_i \tau = (2n+1)\frac{\pi}{2} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

e assim, colocando a frequência central f_c tal que

$$f_c \tau = (2n+1)\frac{\pi}{4} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

teremos modulação de FM.

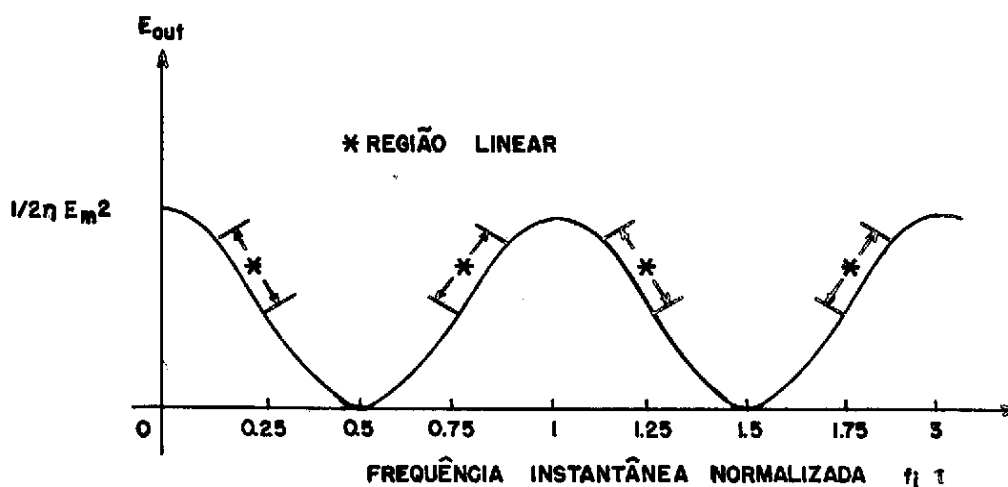


Fig. 3-36 VOLTAGEM DE SAÍDA DO DETETOR QUADRÁTICO COMO FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA (NORMALIZADA); MOSTRANDO AS POSSÍVEIS REGIÕES DE OPERAÇÃO.

3.4.4.2 Procedimento para o Projeto

Alguns parâmetros importantes para o projeto do discriminador são:

1. Percentagem máxima de não linearidade NL
2. Amplitude máxima na tensão de saída V_{max}
3. Frequência central f_c
4. Desvio de frequência
 $(\max f_i - \min f_i)$ Δf
5. Tempo de atraso na linha de atraso $\tau = L/v$
 a. comprimento da linha de atraso L
 b. velocidade de propagação $v = 2 \times 10^{10}$ cm/seg
6. $n = 1, 2, 3, \dots$

Esses seis parâmetros estão relacionados pelas três equações

$$f_c \tau = \frac{2n+1}{4}$$

$$NL = \frac{1 - \sin \frac{1}{2} \Delta f 2\pi \tau}{\frac{1}{2} \Delta f 2\pi \tau} \times 100\%$$

$$V_{max} = \sin \frac{1}{2} \Delta f 2\pi \tau$$

e pela restrição do n ser inteiro. Assim a não-linearidade e a amplitude máxima de voltagem na saída estão diretamente relacionadas entre si.

Os gráficos na Fig. 3.37 ajudam a esclarecer a relação entre esses parâmetros e são úteis para o projeto. Neste caso, f é fixado em 30 MHz, e f_c deve estar abaixo de 95 MHz, se os circuitos integrados forem usados nos prẽ-

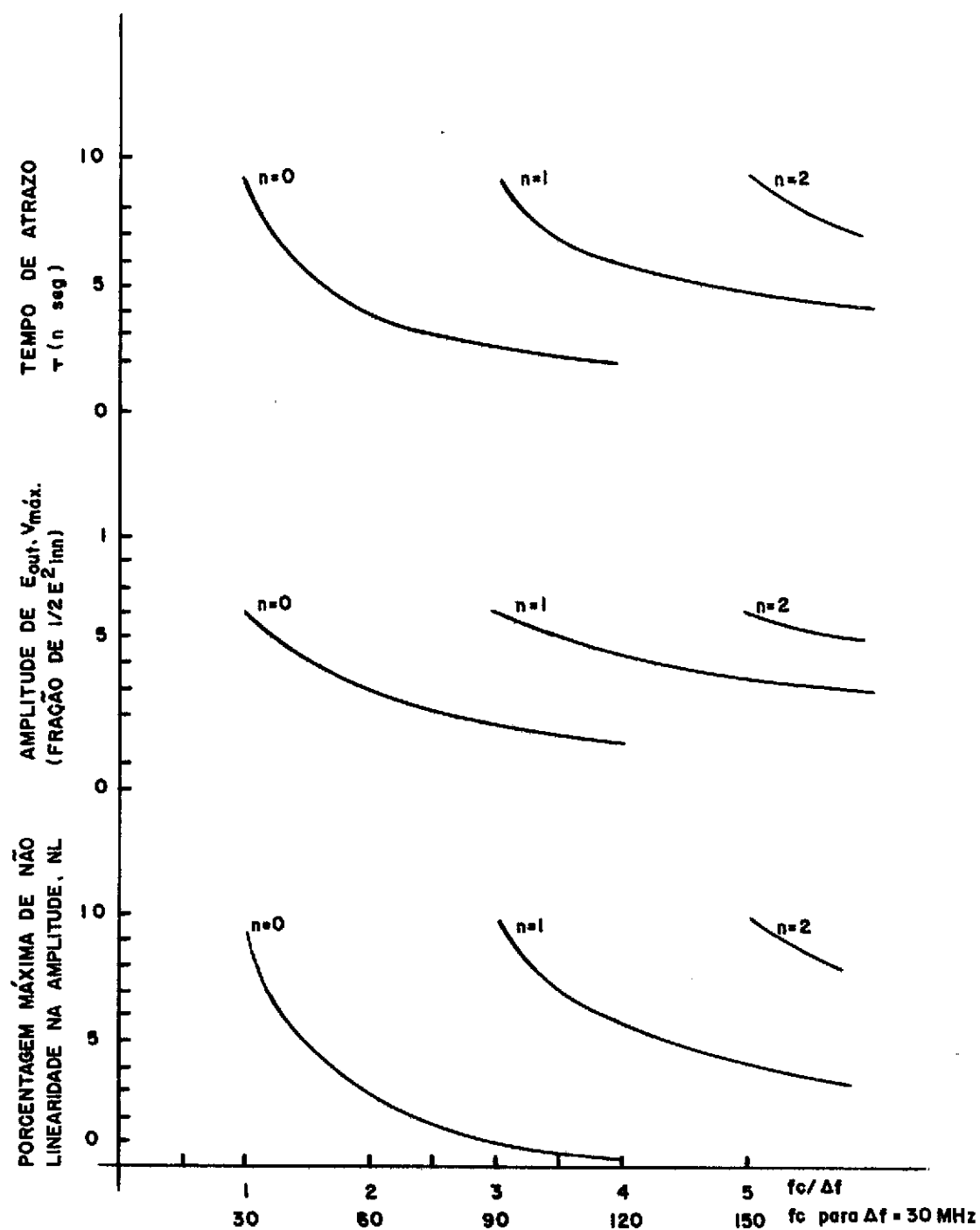


Fig. 3-37 TEMPO DE ATRAZO, AMPLITUDE E LINEARIDADE EM FUNÇÃO DE $f_c / \Delta f$ e de f_c para $\Delta f = 30$ MHz

amplificadores. Uma não linearidade máxima de amplitude de 3% (NL) é razoável para a recepção de TV, pois a grade do tubo de raios catódicos num aparelho de TV tem uma não linearidade consideravelmente maior. Finalmente, os dois canais estão separados de 33.3 MHz. Com esses dados, os parâmetros necessários podem ser determinados a partir dos gráficos, ou das seguintes equações:

$$\delta_c \tau = \frac{2n+1}{4} \quad \text{e} \quad NL \leq 3\%$$

Fazendo $n = 0$ temos as soluções:

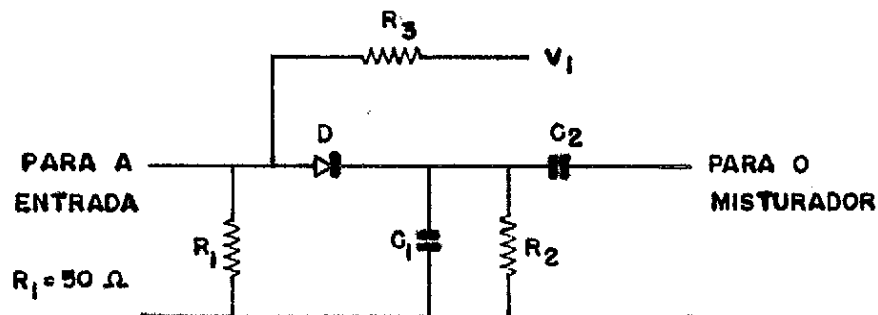
Primeiro canal

$$\begin{aligned} \delta_{c1} &= 60 \text{ MHz} \\ \tau_1 &= 4 \text{ nseg (ou } L = 79 \text{ cm)} \\ NL_1 &= 3\% \\ V_{\max_1} &\approx 0,38 \end{aligned}$$

Segundo canal

$$\begin{aligned} \delta_{c2} &= 93,2 \text{ MHz} \\ \tau_2 &\approx 2,7 \text{ nseg (ou } L=53 \text{ cm)} \\ NL_2 &\approx 1\% \\ V_{\max_2} &\approx 0,26 \end{aligned}$$

Como resultado das baixas frequências envolvidas, o detetor pode ser facilmente projetado e simplesmente montado numa chapa de sustentação. Se a largura de faixa de vídeo de 5 MHz não puder ser abrangida por diodos simples do tipo 1N100, poder-se-á usar um diodo de efeito Schottky, custando aproximadamente US\$1. Neste caso será necessária uma polarização conveniente. A Figura 3.38 fornece uma possível configuração do detetor com a necessária impedância de entrada da linha de 50Ω. Devido às limitações, o sinal de entrada será



$$R_1 = 60 \Omega$$

$$C_1 = 100 \text{ pF}$$

$$R_2 = 1 \text{ K}\Omega$$

$$C_2 = 0,01 \mu\text{F}$$

$$R_3 = 1 \text{ M}\Omega$$

$$V_1 = 15 \text{ V (Fonte de potência DC)}$$

(R_3 e V_1 fornecem a corrente de polarização se for necessário)

Fig. 3.38 ESQUEMA DE UM POSSÍVEL DETETOR

grande e a atenuação causada pela impedância de entrada de 50Ω do detetor poderá ser tolerada.

3.4.4.3 Testes e Custos

O discriminador da Fig. 3.34, usando um detetor quadrático de cristal da Hewlett-Packard*, foi testado com um gerador de varredura, tendo sido obti

*As especificações desse detetor excedem de muito os requisitos deste estudo, que deveria usar o projeto mais simples acima descrito.

dos os resultados previstos. A única diferença entre os resultados práticos e os previstos pelos teóricos foi no período de $\cos 2\pi f_c \tau$, aproximadamente 5 por cento menor que o previsto; isto decorreu principalmente da velocidade da linha de atraso ser ligeiramente menor que $2,0 \times 10^{10}$ cm/seg. Não foram observadas atenuações na linha de atraso nem reflexões estranhas devidas ao conetor de 4 entradas nestas frequências (da ordem de 100MHz).

O custo de um conetor de 4 entradas comprado em quantidades de centenas de milhares seria menor que US\$ 0,50. O diodo de efeito Schottky custa agora menos de US\$ 1.00. Assim o custo principal está no detetor, sendo bem realista a estimativa de US\$ 2,00 para o demodulador completo ou um total de US\$ 4,00 para os dois canais.

3.4.4.4 Alternativas

Várias alternativas foram consideradas, mas nenhuma pode aproximar-se em simplicidade e reduzido custo do discriminador descrito acima. Eis as alternativas resumidamente apresentadas:

1. O projeto padrão usado nos sintonizadores de FM tem uma faixa muito estreita.
2. O Discriminador de linha descrito por C.W. Lee [10] é muito linear (teoricamente pode suportar 100% de desvio com 2,67% de distorção harmônica), mas nas frequências relativamente baixas ao redor de 100MHz, os segmentos de linha aberto e curto circuitado necessários são muito grandes, e também são necessários dois detetores.
3. Um discriminador de nulos, que deteta os zeros do sinal de entrada, é uma idéia razoável, tendo uma excelente linearidade, e seu custo

é da ordem do discriminador de 4 entradas. Entretanto, requer mais elementos ativos, é mais complicado, e apresenta alguns problemas na obtenção de saída de vídeo de 5 MHz.

4. Um discriminador de fase coerente tem as vantagens de ser muito linear e de ter um menor limiar em relação sinal-ruído (ao redor de 5 dB em lugar de 15 dB) que o discriminador comum. O custo das partes é da ordem de US\$ 50 e assim não preenche o requisito de baixo custo para o receptor de TVE.
 5. O discriminador híbrido* que usa dois híbridos, uma linha de atrazo, e um du dois detetores quadráticos (dependendo de se desejar um discriminador balanceado ou não na saída), fornece a mesma saída que o discriminador de 4 portas, mas o custo dos híbridos e a necesidade de usar elementos de diversos tipos nessas frequências relativamente baixas e assim a complexidade adicional, fizeram com que se preferisse o discriminador de 4 entradas.
-

* O desenvolvimento deste sistema é devido aos Drs. William R. Kincheloe e Bill B. May, da Universidade de Stanford.

REFERENCIAS

1. W.A. Bodtman, "A Wide Band Transistor IF Amplifier for Space and Terrestrial Repeaters Using Grounded Base Transformer Coupled Stages, " Bell Sys. Tech. J., Janeiro 1963.
2. R.E. Bogner, "Feedback and Noise Performance, " Electronic Engineering, 37, Fevereiro 1965, pp. 115-117.
3. M. Cherry e D.E. Hooper, "The Design of Wideband Transistor Feedback Amplifiers." Proc. IEEE, 110, 2, Fevereiro 1963.
4. J.C. DeBroekert e R.M. Scarlet, "A Transistor Amplifier with 100 Mc Bandwidth, " TR Nº 514, Stanford Electronics Laboratories, Stanford, Calif. Janeiro 1959.
5. L.C. Drew e H F. King, "A 320 Mc Broadband Amplifier, " Solid/State Design Outubro 1964.
6. Electronic News, 28 Novembro 1966.
7. Hewlett-Packard, Associates, Palo Alto, California. "The Hot Carrier Diode Theory, Design, and Application", Hewlett-Packard Application Note 907.
8. Hewlett-Packard Associates, Palo Alto, California.: "Step Recovery Diode Frequency Multiplier Design, " Hewlett-Packard Application Note 913.
9. R.W. Landee, Electronic Designer's Handbook, McGraw Hill Book Company New York 1957.
10. C.W. Lee, Proc. IEEE, Setembro 1964, pp. 1034-1038.
11. J.M. Pettit e M.M. McWhorter, Electronic Amplifier Circuits, McGraw Hill Book Company, New York, 1961.
12. W.L. Pritchard, "Notes on a Crystal Mixer Performance, " IRE Trans. MTT, Janeiro 1955.
13. W.A. Rheinfelder, Design of Low Noise Transistor Circuits, Hayden Book Company, New York, 1964.
14. G.C. Southworth, Principles and Applications of Waveguide Transmission, D. Van Nostrand Co., Inc., New York 1950.
15. Texas Instruments, Transistor Circuit Design, McGraw Hill Book Company New York, 1963.

3.5 FONTE DE ENERGIA NO SOLO

Esta secção discute as necessidades de potência para um receptor de TVE transistorizado com cinescópio de 25 polegadas e o adaptador de micro-ondas. Vários métodos são considerados para obter-se a energia necessária, sendo seleccionado um método apropriado.

3.5.1 Necessidades de Potência

As necessidades de potência são as seguintes:

(1) Circuitos de processamento do sinal, incluindo o conversor de micro-ondas: 6 a 10 Watts.

Em um receptor de alta qualidade, a necessidade de potência para o circuito de processamento do sinal é de 6 a 10 Watts. Dispõe-se de um circuito com esta quantidade de potência $\{2,8\}$. Devido ao alto grau de optimização dos projetos atuais, este número não está sujeito a grandes mudanças no futuro. A única possibilidade de se economizar potência seria adicionar circuitos integrados. O conversor de micro-ondas consome uma pequena parcela de potência, desprezível quando comparada com o aparelho de TV.

(2) Seção de alta voltagem e excitadores horizontal e vertical; 15 watts

Usando um cinescópio de 900 em lugar de um de 1100, várias vantagens são obtidas. Pode-se, por exemplo, usar 18KV para a voltagem do anodo do cinescópio em lugar de 20 KV, o que exige menor corrente defletora sendo assim menor o consumo de potência $\{2,15\}$.

(3) Aquecimento do cinescópio: 6 watts

A potência para o aquecimento aumenta geralmente com a área da face do cinescópio. Os cinescópios disponíveis usam de 1 watt (mínimo) a 11,2 watts (máximo) {15}. Têm sido criados cinescópios especiais que usam menor potência de aquecimento, mas ainda não parece eminente uma queda significativa neste valor {12, 18}. Numa matriz foi examinada a possibilidade de uma imagem obtida com estado sólido usando diodos emissores de luz, mas não se encontrou desenvolvimento suficiente na teoria ou na prática para autorizar outras considerações.

A necessidade de potência é de aproximadamente 30 watts no total. Há aparelhos comuns no mercado que operam até com 9,5 watts; entretanto estes aparelhos têm cinescópios miniaturas de 4 polegadas. Para uma imagem de 11 polegadas, a potência sobe para 20 watts.

3.5.2 Métodos de Produção de Energia no Solo

Os seguintes métodos de produção de potência no solo foram considerados:

- | | |
|-------------------------------|------------------------------|
| 1. Potência eólica | 5. Células solares |
| 2. Grupo motor-gerador | a. configuração plana |
| 3. Eletrificação convencional | b. configuração com refletor |
| 4. Termoelétrica | 6. Termoiónica |
| | 7. Célula de combustível |
| | 8. Turbinas a vapor |

Os métodos de 5 a 7 foram eliminados devido ao alto custo. O método 8 foi eliminado porque a potência é produzida em níveis muito mais elevados do que é necessário e não pode ser suficientemente adaptado.

3.5.2.1 Potência Eólica

O catavento com gerador, recomendado para esta aplicação, é capaz de produzir uma saída máxima de 200 watts, e suscetível de fornecer continuamente 30 watts (7) (veja Fig 3.39). Ele é relativamente pequeno e simples, e, com exceção do eixo do rotor principal é hermêticamente lacrado. O sistema exige uma torre de 3 a 6 metros dependendo das obstruções. Esta torre porém poderia ser construída pelos habitantes (5). Ela não exigiria nenhuma potência animal ou humana e não causaria qualquer alteração nos hábitos diários.

O custo desse sistema é a sua maior desvantagem. Além disso os dados obtidos, baseados no passado, correspondem a geradores de alta potência, o que dificulta estimar o custo do tipo pequeno. No entanto, obtiveram-se cifras representativas do custo dos componentes individuais, como indicado a seguir:

Componentes	Custo -US\$
Alternador de alta velocidade*	40,00
Caixa de engrenagens	10,00
Guia mecânico	10,00
Hélice	20,00
Regulador Elétrico	5,00
Baterias	30,00
Total	115,00

*Este custo é maior do que o de um alternador a carroça porque o alterador a vento deve ser capaz de fornecer uma grande potência de pico.

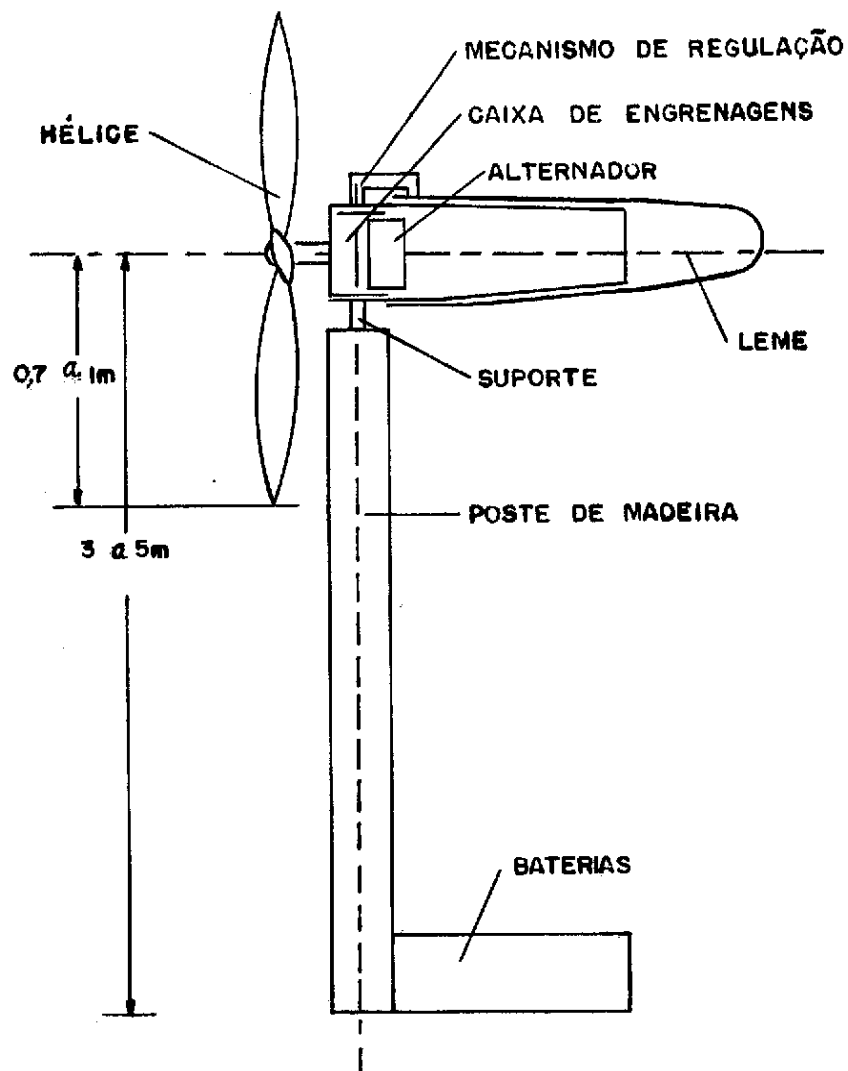


Fig. 3.39 GERADOR A VENTO. Custo US\$ 200
Manutenção, US\$ 30/ano

Esta estimativa no que tange à caixa de engrenagens, ao guia mecânico, e à hélice, é deveras otimista. Para obter a máxima eficiência uma hélice do tipo avião é preferível à hélice do tipo embarcação. Daí resulta que a hélice deve ter as características aerodinâmicas corretas. Não parece pois muito lógico que isto possa ser feito por US\$ 20,00. A caixa de engrenagens, dependendo de

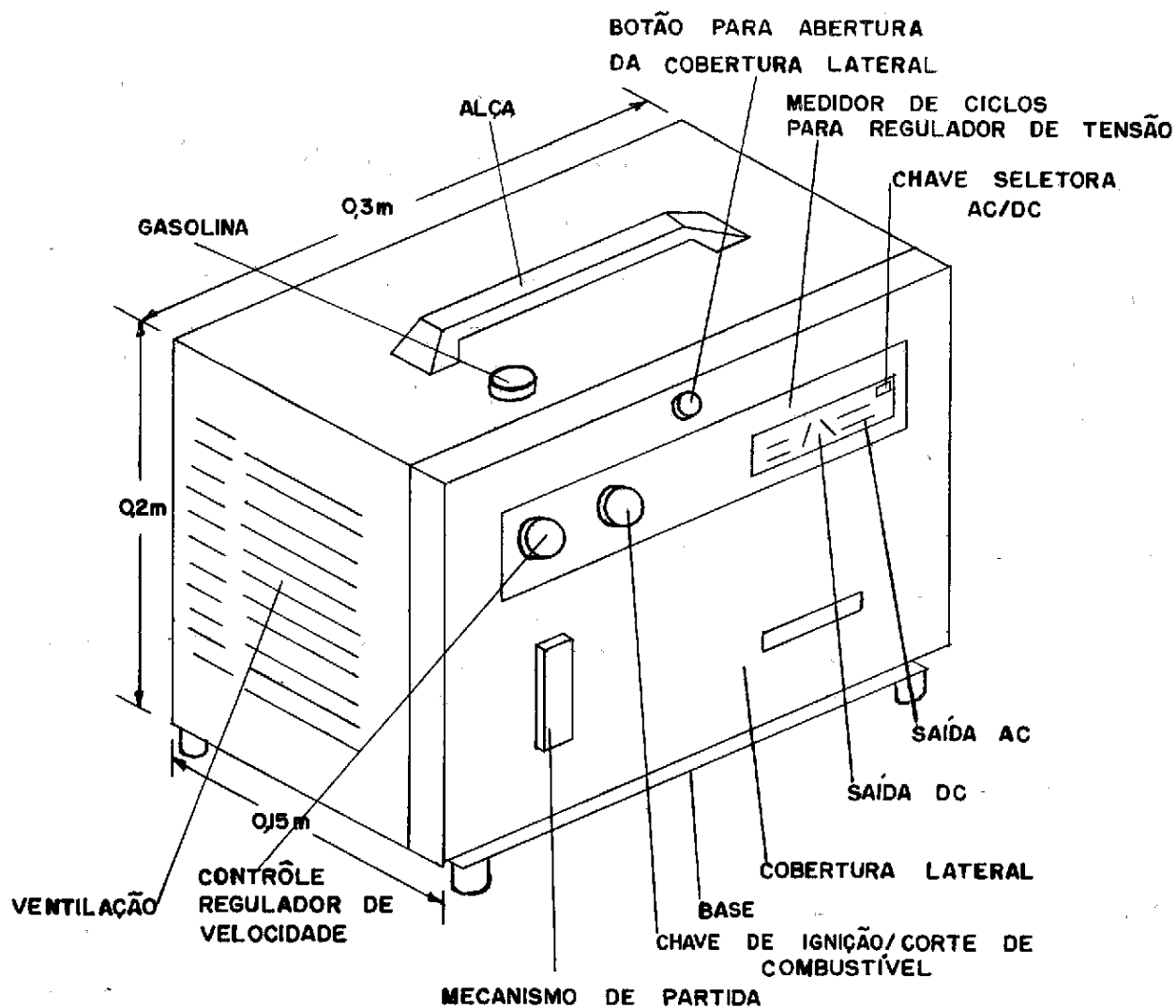


Fig. 3-40 MOTOR GERADOR (Um exemplo é o Modelo E-40 da Honda). Custo, US\$60. Manutenção US\$70 /ano.

sua complexidade, é também uma componente de precisão que poderia custar muito mais de US\$ 10,00. Em caso de ventos muito fortes é necessário prover a hélice de um regulador mecânico. Uma estimativa menos otimista para os custos (incluindo US\$ 50 para uma torre) seria US\$ 300.

3.5.2.2 Grupo Motor-Gerador

O grupo motor-gerador (Fig. 3-40) pode fornecer continuamente 40 watts a um preço unitário de US\$ 60. É pequeno e relativamente leve (16 kg).

Os principais problemas associados com esta unidade são o abastecimento e a manutenção. O custo da gasolina para uma unidade operando 12 horas por dia durante todo o ano é US\$ 64. A obtenção de gasolina e pessoal de manutenção das unidades seria um problema difícil em áreas remotas.

3.5.2.3 Eletrificação Convencional

A eletrificação convencional é, naturalmente, a melhor solução para o problema. O problema inerente é o espaço de tempo necessário para a sua implementação.

3.5.2.4 Termoelétrico

Um novo tipo de gerador que fornece uma potência entre 1 e 300 watts, continuamente, fabricado pela divisão de termoeletricidade da "General Instrument Corp." está sendo usado em casos semelhantes.

Este tipo de gerador não tem partes móveis, queimando gás natural, propano e butano.

Sua ignição é feita com fósforos comuns, dispensando a bateria normalmente usada para a partida dos geradores convencionais.

A manutenção, apesar de simples, e o abastecimento são os principais problemas deste tipo de gerador.

3.5.3 Sumário

A solução desejada para o país é a eletrificação convencional, e é previsto que quando este projeto puder ser implementado, a maior parte do território nacional será coberta desta maneira. As áreas restantes poderão ser abastecidas com motores geradores ou geradores a gás até que a eletrificação total seja alcançada.

REFERÊNCIAS

1. T. Baumeister (Ed.), Mechanical Engineers Handbook, 6th ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 1958.
2. E.M. Creamer, "Low Cost High Performance Transistor T.V.," IEEE Trans. on Broadcast Rec., 11, 12, Julho 1965.
3. Farrington Daniels, Direct Use of the Sun's Energy, Yale University Press, 1964.
4. E.S. Drendal, "Mangenerated Power," Mechanical Engineering, 82, 7, Julho 1960.
5. M.S. Ekbote, R. Varajan, e G.G. Gupte, "Criteria for Design of Windmills for Low to Moderate Wind Velocities," J. Sci. Ind. Rep., 18a, 8 Agosto 1959.
6. E.W. Golding, The Generation of Electricity by Wind Power, 1956.
7. R.C. Hamilton, "Comparative Economic and Performance Analysis of Indigenous Fuel Power Systems," SAE - 883E, 8-12 Junho 1964.
8. H. Arthur Klein, Fuel Cells, J.B. Lippincott Co., New York, 1966.
9. E.E. Landsberg, "Solar Radiation at the Earth's Surface," Solar Energy, 5, 3, Julho-Setembro 1963.

10. Werner Luft, "Stationary Silicon Solar Cell Converter Calculations", Solar Energy, 6, 1, Janeiro-Março 1962.
11. NATO Seminar Proc. on Solar and Aeolian Energy, 1961.
12. Yasumasa Sugihara, "From Japan a Startling New Color T.V. Set, " Electronics, 38, 11. 31 May 1965, pp. 81-85.
13. L. Donald Payne, Electric Motor and Generator Repair, Bobbs-Merrill Co., New York, 1962.
14. Power Sources Conference, Proc. U.S. Army Signal Research and Development Laboratory, Ft. Monmouth, N.J., Maio 1965.
15. RCA Receiving Tube Manual, Technical Series R.C.-20, 1965.
16. R. Sachs, "Wind Generation of Electric Power for Radio Relay Repeaters, " 8200 Point to Point Telecom (BB), 8, 2 Fevereiro 1964.
17. Harry Z. Tabor, "Power for Remote Areas," Int. Science Technology; Maio 1967.
18. A. Tsuneda and M. Noguchi, "Transistorized 11-in. Picture Tube for T.V. Receivers," Toshiba Rev., 19, Autumn 1964.
19. UNESCO: "Wind and Solar Energy, Arid Zone Research, " Proc. New Delhi Symposium , 1962.
20. J.G. Walker, " Automatic Operation of Medium Sized Wind Driven Generator Running in Isolation," Tech. Rept C/t122, British Elec. and Allied Industries Research Association 1960.

CAPÍTULO IV
PROJETO DO SATÉLITE

4.1 CONFIGURAÇÃO DO SATÉLITE

4.1.1 Introdução

O que se segue é de caráter muito preliminar, mas será um subsídio na Fase I do projeto.

Na configuração do satélite impõem-se as necessidades: (a) orientação precisa da antena de alto ganho, (b) de grande potência solar e (c) de dissipar eficientemente o calor inútil. Uma vez que as válvulas de transmissão liberam mais de 1kW de calor inútil no corpo principal do satélite, o controle térmico desempenha uma parte importante no projeto.

Para proporcionar os 2,5 kW de potência DC requeridos pelo satélite é necessária uma grande área de células solares. Para garantir um peso mínimo para as baterias solares, escolheu-se um sistema orientado pelo sol, ao contrário do sistema rotativo que exigiria uma área três vezes maior. Para economizar espaço, os painéis de baterias solares ficam enrolados durante o lançamento e são desenrolados em órbita.

Após considerar várias alternativas foi escolhida a técnica de estabilidade por rotação controlada. Este é o único sistema de estabilização que satisfaz os requisitos de orientação da antena e da bateria solar e que evita junções de baixa velocidade que se podem congelar no espaço. O lento movimento relativo entre a antena e as baterias solares (uma rotação por dia) é obtido girando ambos em relação à seção de alta velocidade.

A Fig. 4-1 mostra a configuração resultante, sendo os detalhes das seções superior e inferior mostrados nas Figs. 4-2 e 4-3. Após o desdobramento, a seção inferior gira a uma alta velocidade (185 a 195 rpm) e estabiliza o satélite por meio de sua ação giroscópica. A seção inferior também contém motores de ions de césio para manutenção da posição. Um motor síncrono reduz a rotação da seção superior, que contém o equipamento eletrônico e a antena, e um outro motor síncrono faz o mesmo com a das baterias solares.

Durante as fases de lançamento, de voo livre intermediário e de ignição do motor de injeção no apogeu, as três seções do satélite permanecem travadas pelos cilindros dos rolos dos painéis das baterias solares, que apertam fortemente as outras seções por meio de braços telescópicos. As cargas de empuxo são assim transferidas da seção superior, para os cilindros dos rolos de painéis o que evita uma alta carga axial nos mancais. O destravamento das seções ocorre pela extensão dos braços telescópicos.

A antena, montada sobre a seção superior, é suportada por três pernas. Se uma análise posterior indicar que é necessário maior altura, poder-se-á obter mais meio metro alongando estas pernas.

4.1.2 Pêso do Satélite

O pêso previsto para o satélite SACI é dado na tabela 4-1. Esse pêso total (cêrca de 300 kg) está bem dentro da capacidade impulsora da combinação Atlas-SLV-3-Agena por exemplo. Esse pêso poderia ser aumentado de uns 150 kg sem ultrapassar a capacidade máxima do Atlas, usando-se a configuração SLV-3A ou Atlas reforçado.

4.1.3 Distribuição de Massa do Satélite e Momento de Inércia

Os dados de centro de gravidade e momento de inércia do satélite SACI são encontrados na tabela 4-2. A condição "enrolada" dos painéis é mantida desde a separação do Agena até a entrada em órbita, quando então os painéis solares são desenrolados. Até esse momento, o satélite está "travado" e gira como uma unidade, para ter estabilidade, durante o estágio de funcionamento do motor de injeção no apogeu. Depois de desenrolados os painéis solares, as três seções giram independentemente, com motores síncronos proporcionando as corretas velocidades de rotações relativas de cada seção.

O centro de gravidade ao longo dos eixos X e Y é muito próximo do eixo de simetria. A localização do centro de gravidade ao longo do eixo Z é me dido a partir da base da seção inferior.

4.1.4 Materiais Estruturais do Satélite

As considerações sobre os materiais relacionam-se ao pêso, à resistên cia, à rigidez, à condutividade térmica, à dilatação térmica e à facilidade de fabricação. A tabela 4-3 indica as propriedades de alguns materiais utilizã veis.

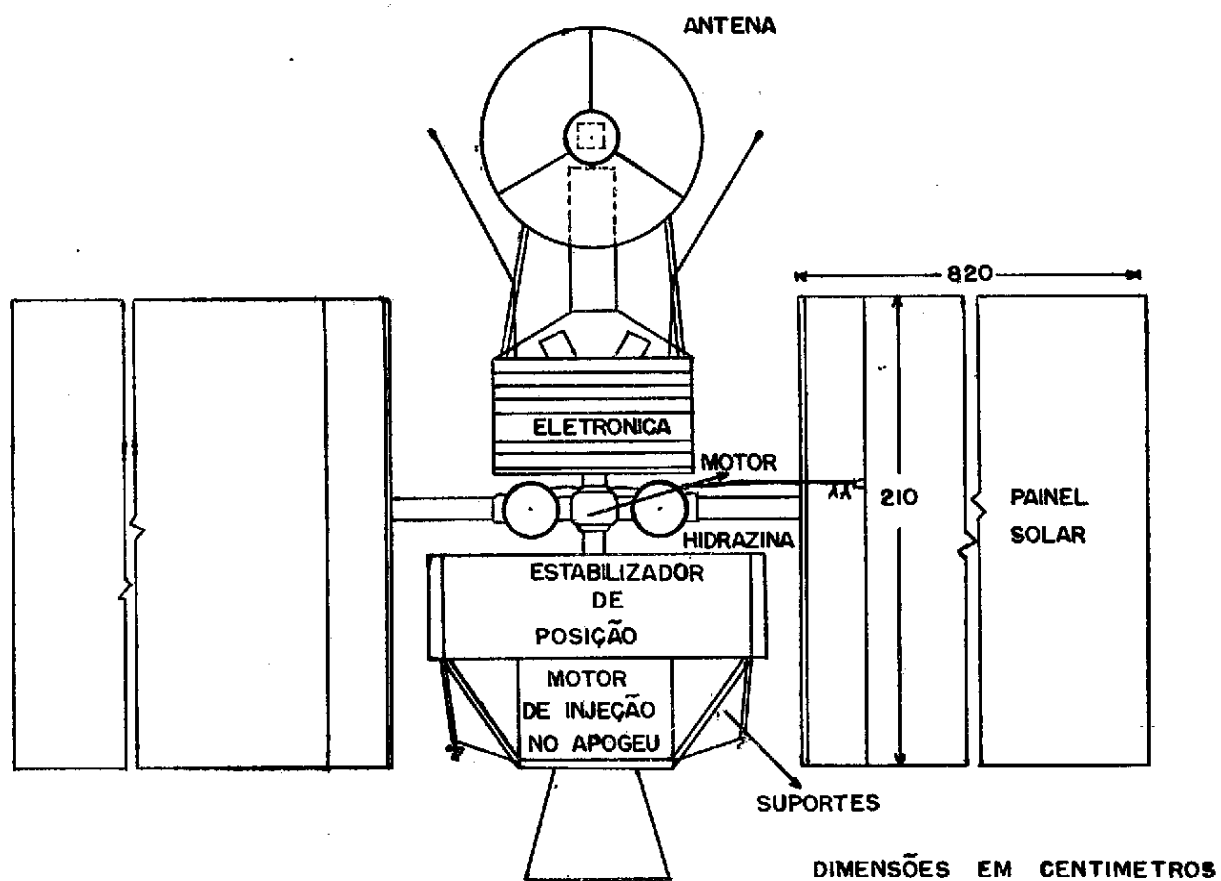
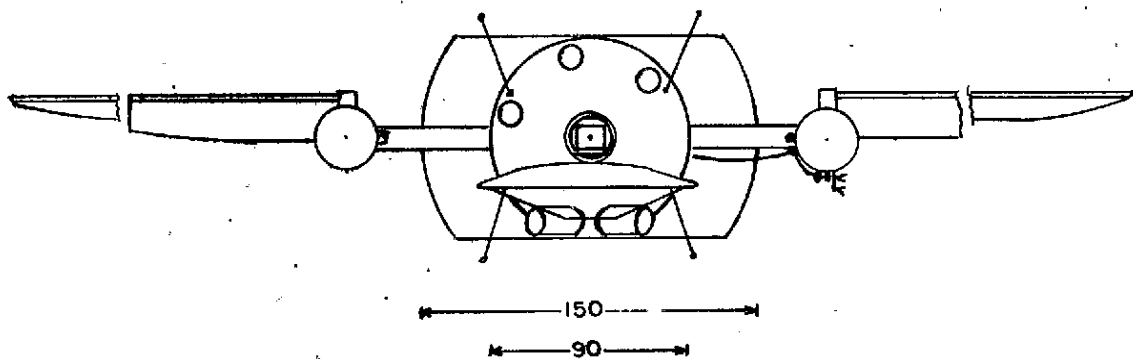
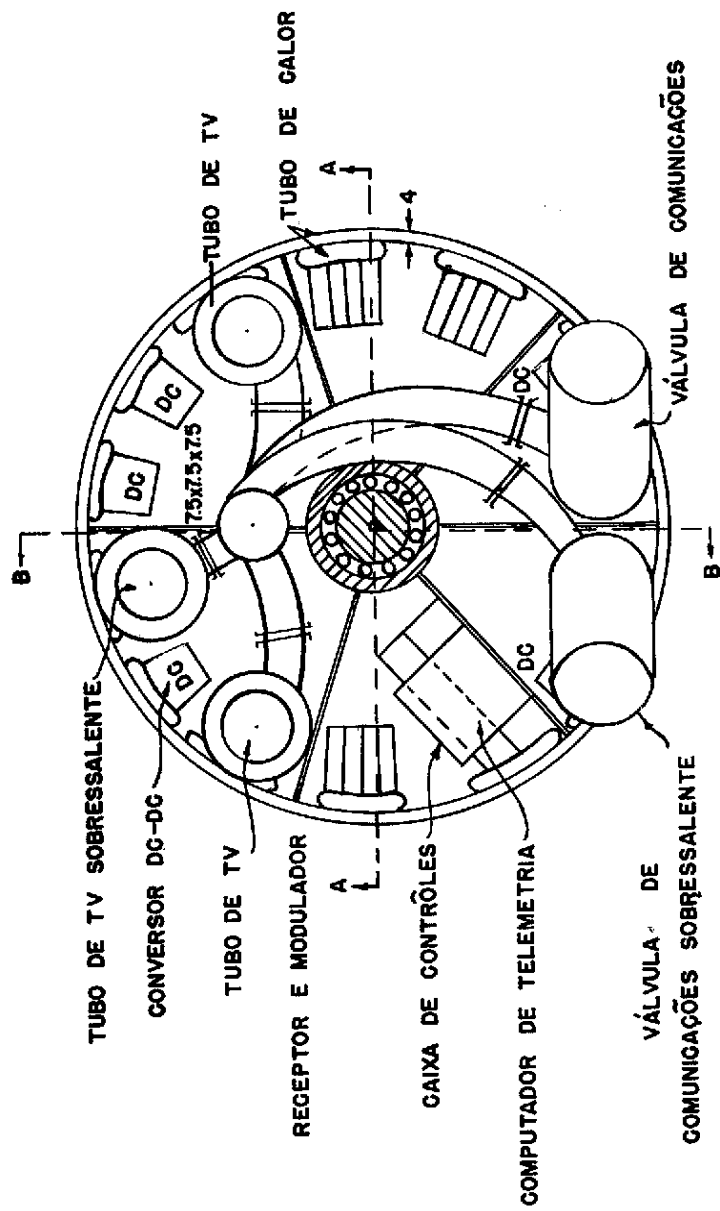


Fig. 4-1. VISTA GERAL DO SATÉLITE

SEÇÃO SUPERIOR



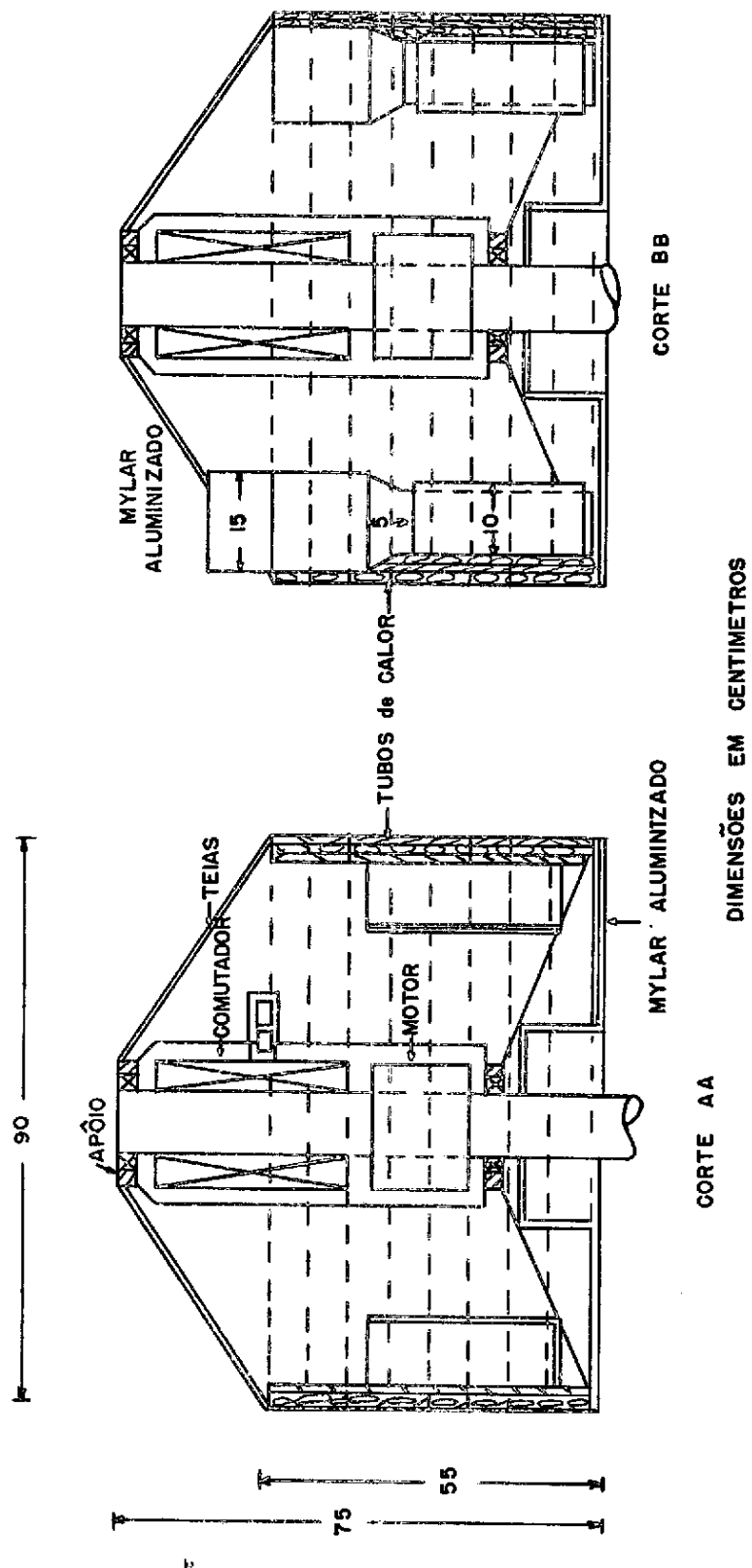


Fig. 4-2. SEÇÃO SUPERIOR DO SATÉLITE

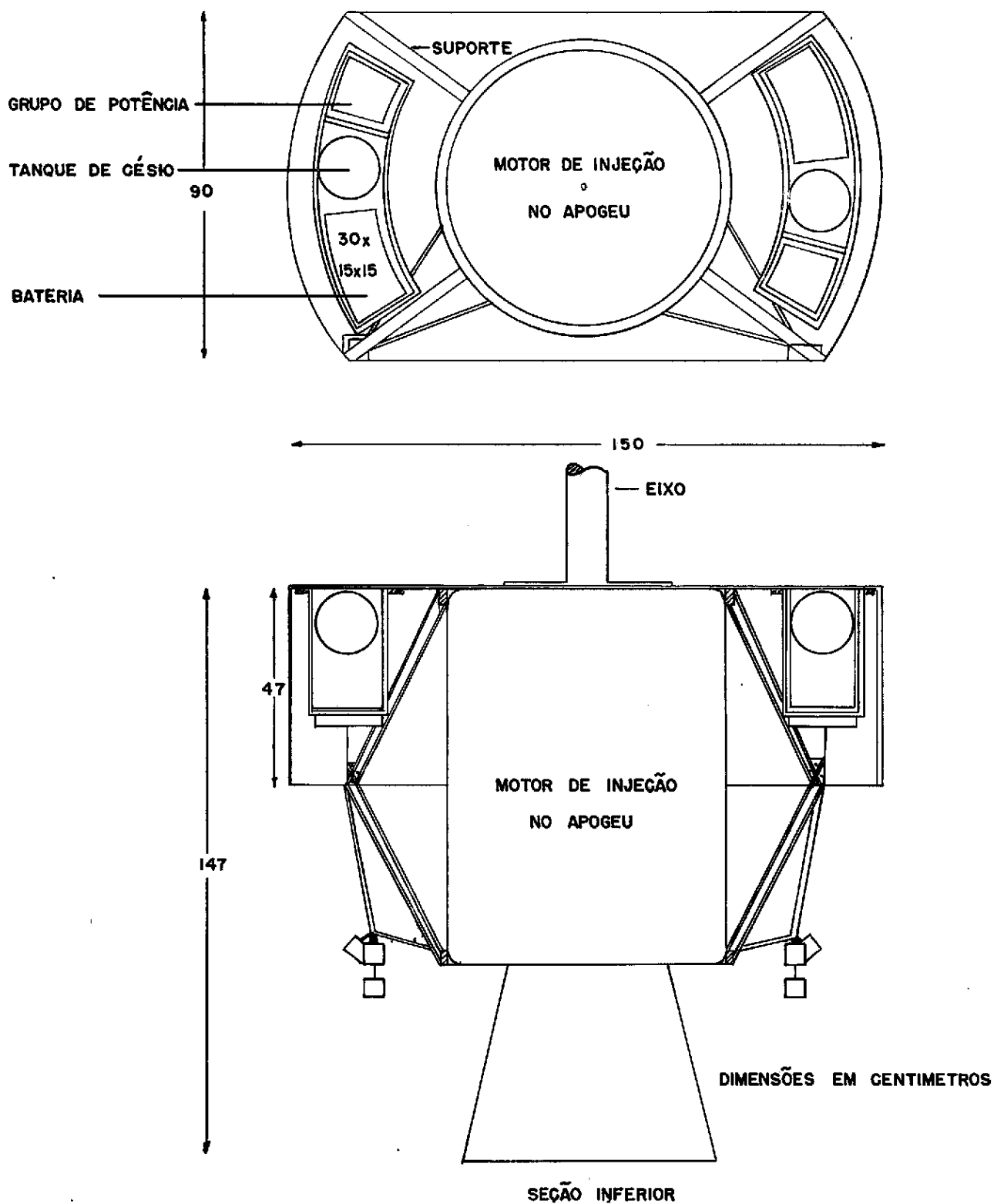


Fig. 4-3. SEÇÃO INFERIOR DO SATÉLITE.

Tabela 4-1

DISTRIBUIÇÃO DO PÊSO DO SATÉLITE

Item	Quantidade	Peso Total		Item	Quantidade	Peso Total	
		(lb)	(kg)			(lb)	(kg)
Seção Superior				Seção Inferior			
Válvulas de transmissão	5	50	22,7	Bateria	2	50	22,6
Itens associados		20	9,1	Tanques de Césio e acessórios	2	20	9,1
Receptores	3	8	3,6	Césio		20	9,1
Moduladores	3	25	11,4	Caixa do Motor de injeção no apogeu			
Processador de comando		3	1,4	Combustível não queimado		40	18,2
Conversores DC/DC	5	75	34,1	Arcação de fibra de vidro		40	18,2
Antena e acessórios		35	15,9	Eixo		12	5,4
Motor		5	2,3	Suportes		5	2,3
Anéis de deslizamentos		3	1,4	Prateleira	8	5	2,3
Pontos de apoio		1	0,5	Cobertura de Mylar aluminizada		4	1,8
Caixa de controles		10	4,6	do			
Cobertura de Mylar aluminizado		2	0,9	Persianas		1	0,5
Cilindro externo		25	11,4	Diversos		2	0,9
Teias de cizalhamento	6	6	2,7			10	4,6
Diversos		10	4,6	Total da seção inferior		209	95,0
Total da seção superior		278	126,6	Seção Central			
				Motor		5	2,3
				Estrutura		10	4,5
				Hidrazina e tanques		30	13,6
				Sistemas de baterias solares		164	74,6
				Total da seção central		209	95,0
				Total do Satélite		696	316,7

Tabela 4-2

DADOS DE MOMENTO DE INÉRCIA E CENTRO DE GRAVIDADE
PARA O SATÉLITE SACI

	<u>kg-m²</u>
Momento de inércia em relação ao eixo ψ	
Seção superior	14,25
Painéis solares	56,20
Seção inferior	<u>28,20</u>
Total	98,65
Momento de inércia em relação ao eixo X	
Seção superior	15,30
Painéis solares	28,20
Seção inferior	<u>37,80</u>
Total	81,30
Momento de inércia em relação ao eixo Z	
Seção superior	22,60
Painéis solares	29,80
Seção inferior	<u>27,30</u>
Total	79,70
Momento de inércia dos painéis solares quando desdobrados (em relação aos eixos Z e ψ)	
Painéis solares	1060,20
Centro de gravidade do satélite (medido da base)	
	<u>cm</u>
Seção superior	195
Painéis solares	160
Seção inferior	110
Satélite completo	157

Tabela 4-3

PROPRIEDADES DOS MATERIAIS

Material	σ_{tu} (ksi)	σ_{ty} (ksi)	σ_{cy} (ksi)	E (10^6 psi)	ν	ρ (lb/in ³)	k (Btu/hr-ft-°F)	α (10^{-6} in/in-°F)
Be	70	50	50	42	0,09	0,067	104	6,4
Be - 38%Al	44	31	28	28	0,15	0,076	123	9
Al %75 -T6	72	63	64	10,3	0,33	0,101	76	12,9
Mg -Th Hk 31A-H24	34	26	20	6,5	0,35	0,065	60	15
Ti 6Al -4V	160	145	154	16	0,28	0,16	3,8	4,5
Plástico de fibra de vidro reforçado	56	56		3,63	0,113	0,06	0,23	12,5
σ_{tu} = resistência à tração σ_{ty} = tração de escoamento σ_{cy} = compressão de escoamento E = módulo de elasticidade ν = relação de Poisson ρ = densidade k = condutividade térmica α = coeficiente de dilatação térmica								

As condições do meio que afetam a escolha do material são:

Manuseio em terra. Durante esta fase, o satélite está sujeito à acelerações, choques, vibrações, variações de temperatura, umidade, fungos, areia, poeira, chuva, etc. De um modo geral, o meio ambiente em terra em torno do satélite, é controlado mais do que qualquer outro.

Condição de impulsão. O satélite experimenta altas acelerações, ruído acústico, e vibrações, bem como bruscas mudanças de pressão durante a impulsão. A aceleração é o problema mais crítico devido à resistência de vibração, inerente ao projeto, na área das baterias solares.

Vácuo. A baixa pressão encontrada no espaço tem efeitos degradantes sobre os materiais. Materiais com alta pressão de vapor tendem a sublimar-se. A sublimação ou expulsão de gás dos materiais dielétricos nas antenas pode alterar as características dielétricas, causando ressonâncias, perdas de potenciais e mudanças do diagrama de radiação. Sol da contendo materiais de alta pressão de vapor gera rebarbas de solda entre pontos de potências diferentes. Plásticos e outros materiais podem enfraquecerem-se e tornarem-se porosos devido à sublimação de componentes voláteis. Uma escolha apropriada de lubrificantes deve ser feita para evitar a deterioração devida a componentes voláteis.

Radiação do espaço. Superfícies expostas, tais como pilhas solares, pontos de controle de temperatura e antenas degradam-se devido às radiações nuclear e solar. O isolamento dos fios externos pode tornar-se quebradiço e desenvolver baixa resistência às fugas de correntes. A baixa pressão aliada à radiação do meio pode aumentar a rapidez da degradação.

Meteoritos. A probabilidade estatística de incidência na altitude síncrona ainda não é conhecida. Para órbitas baixas pode ser esperada uma média estatística de uma perfuração para cada 2000 dias sobre uma esfera de 3m de diâmetro com 3mm de espessura de alumínio, ou cada 100 dias para 1mm de espessura. Também pode ser esperado um efeito de abrasão por jatos de poeira em todas as partes externas expostas do satélite. Erosão nas superfícies da antena tenderá a reduzir a eficiência de radiação, principalmente em pequenos comprimentos de onda.

Temperatura. A temperatura excessiva danifica os componentes sensíveis ao calor e compromete a integridade da estrutura. Os lubrificantes congelam-se a temperaturas reduzidas e vaporizam-se a temperaturas elevadas. A superposição das bandas de tolerância de temperatura para cada componente pode resultar numa banda total de tolerância de apenas alguns graus.

Devem ser tomados cuidados especiais na escolha dos materiais e no projeto, a fim de evitar tais percalços. Os materiais de tabela 4-3 são em geral convenientes às aplicações espaciais.

4.1.5 Projeto da estrutura do satélite

O projeto da estrutura do satélite SACT decorre da combinação da análise estrutural com o projeto térmico. Em muitos casos, a seleção de materiais e o projeto foram feitos para atender ao controle térmico.

Um primeiro exemplo é o arcabouço da seção superior (Fig. 4-2). Esse arcabouço é feito de 10 tubos de calor soldados juntos para formar uma estrutura contínua em sanduiche. O resultado é muito eficiente, não só para a distribuição das cargas durante a impulsão como também para a distribuição e irradiação de calor pelo satélite. A espessura da parede, de 13mm, não decorre dos requisitos de resistência, mas é a mínima espessura possível para que se tenha uma baixa probabilidade de perfurações dos tubos por meteoritos. Como era de desejar uma alta condutividade escolheu-se para estas paredes uma liga de alumínio e berilo.

Também a escolha do sanduiche de fibra de vidro para as paredes da seção inferior decorreu de considerações térmicas. Deseja-se aqui uma condutividade térmica muito baixa devido às condições do ambiente no interior da seção inferior; ainda assim deve ser mantida uma estrutura muito rígida.

Verificou-se que geralmente as forças atuantes nos instantes iniciais do lançamento são as mais severas. A máxima aceleração de um lançamento do Atlas-Agena é 11 g longitudinal e 2 g lateral, mais 4 g para efeitos de vibração. Um fator de segurança de 1,5 conduz a um projeto de cargas máximas longitudinais de 22,5 g e laterais de 9 g.

Os itens da estrutura básica selecionados para a análise encontram-se na Fig. 4-4. A análise detalhada das partes maiores deste projeto pode ser encontrada no Apêndice A no Terceiro Volume deste relatório. Admite-se que as menores articulações, encaixes, juntas, etc., têm a necessária rigidez estrutural e não afetarão apreciavelmente a configuração ou o peso apresentados.

O motor de injeção no apogeu é suportado por anéis em cada extremidade de sua caixa. Os anéis inferiores casam com o adaptador do impulsor.

Quatro suportes ligam cada anel à extremidade inferior do arcabouço externo. No anel superior e na extremidade superior do arcabouço externo está uma prateleira na qual os componentes são montados. Toda esta estrutura é de berilo exceto o arcabouço externo que é um sanduíche de fibra de vidro (paredes de 0,126 cm e filtro de 1,26 cm). A prateleira de equipamentos é de construção em sanduíche, de berilo, em harmonia com o desejo de proporcionar alta relação rigidez-peso.

As forças devidas à aceleração são transmitidas do resto do satélite, por meio de vigas, para os cilindros que contêm as células solares, os quais são presos por meio de pinos às cascas das seções superior e inferior antes do desdobramento. A casca é enrijecida nos locais próximos aos pinos.

Como mencionamos anteriormente, o arcabouço principal do cilindro superior é composto de tubos de calor que também são usados para alojar o equipamento eletrônico contido nessa seção, facilitando o respectivo resfriamento. Os mancais do arcabouço superior são ligados a ele por anéis e teias de cisalhamento de berilo que permitem obter a máxima relação rigidez-peso.

A antena é montada no topo da seção superior, suportada por três pernas de titânio. O titânio foi escolhido para minimizar a deflexão da antena em consequência das diferenças de dilatação térmica produzidas pela mudança de orientação relativa do sol. O refletor da antena é feito de colmeia de nylon revestida de alumínio, o que permite obter rigidez e pequeno peso.

O eixo principal e o tubo de ligação para as baterias solares são cilindros de berilo que nos dão rigidez suficiente.

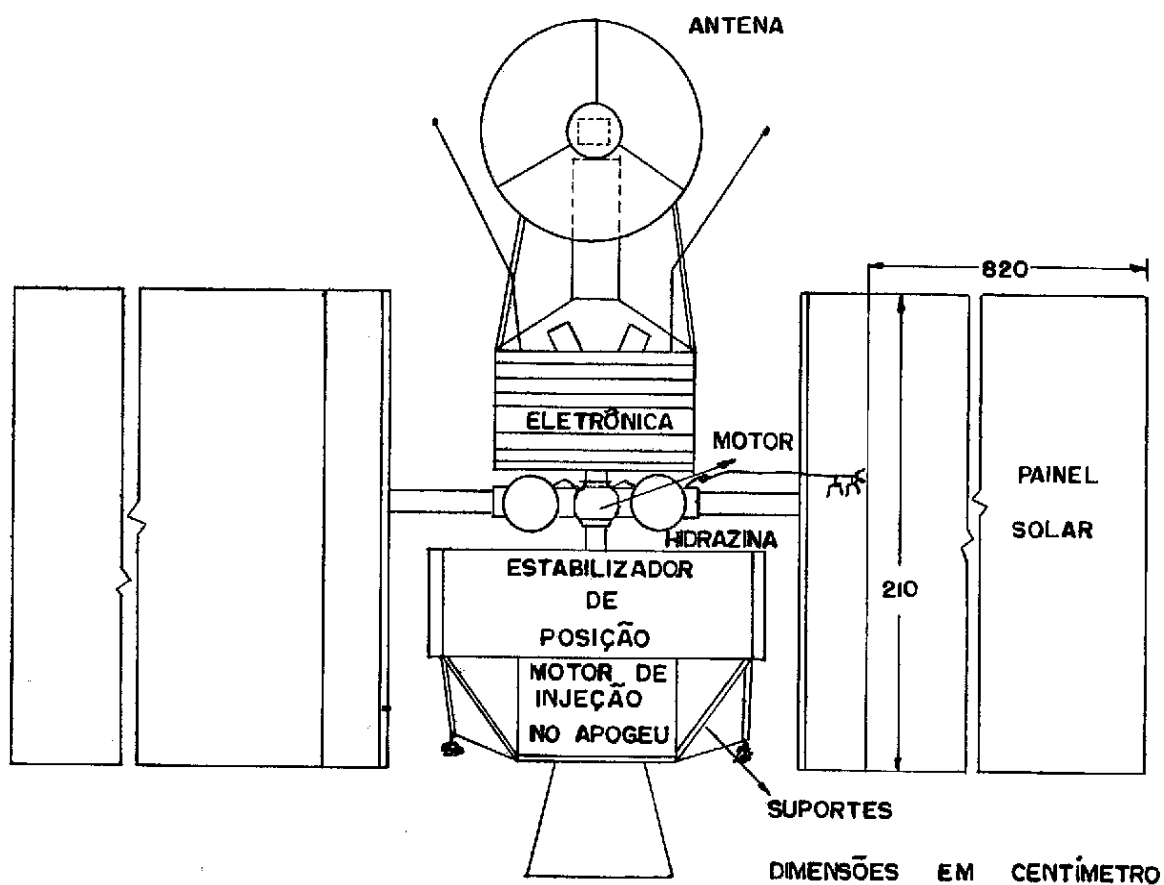
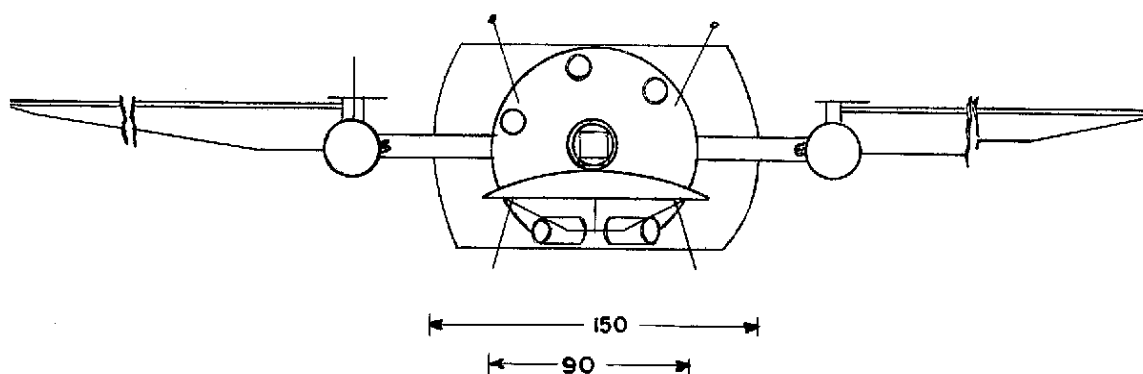


Fig. 4-4. VISTA GERAL DO SATÉLITE.

REFERÊNCIAS

1. V. P. Charylulu (Ed), "ICARUS - Inter-Planetary Craft for Advanced Research in the Vicinity of the Sun", School of Engineering, Stanford University, Stanford, California, Agosto de 1966.
2. H. H. Koelle (Ed), Handbook of Astronautical Engineering, McGraw-Hill Book Company, New York, 1961.
3. Lockheed Missiles & Space Company, "General Environmental Specifications for the Equipment of the Agena and Associated Payload", Report No. LMSC 6117D, 7 de Junho de 1963.
4. Jean Mayers, Lecture Notes for Course on Aircraft and Missile Structures (A. A. 240A,B,C), Stanford University, 1966.
5. D. J. Peery, Aircraft Structures, McGraw-Hill Book Company, New York, 1950.

4.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

4.2.1 Sinais

Como foi explicado na seção de comunicações deste relatório, a modulação da onda da ligação satélite-terra, tanto para a TVE como para as comunicações, será em FM de faixa larga, dada a melhor relação sinal/ruído e os menores níveis de potência requeridos para a mesma relação sinal/ruído que o de um sistema AM. A faixa alocada para a ligação satélite-terra é de 3,7 a 4,2 GHz. Considerando a dificuldade na produção de demoduladores de faixa larga, existirão 15 canais disponíveis nesse intervalo de 500 MHz. Cada qual tem 30 MHz de largura, com 3 MHz de bandas de guarda. Devido à demanda previsível de comunicações e transmissão de dados, o sistema deve ser ca-

paz de acomodar pelo menos 5 dos canais de 30 MHz.

Os sinais de TVE na ligação terra-satélite também serão FM de faixa larga; a ligação para comunicações e transmissão de dados será SSB/AM (e possivelmente FM) para múltiplo acesso, e FM já multiplexada para canais de alto volume entre grandes cidades como Rio de Janeiro e Recife.

4.2.2 Níveis de Potência e Limitações Resultantes

O nível de potência do transmissor na ligação terra-satélite é função da antena do satélite e do fator de ruído do receptor. Este tópico encontra-se discutido na Seção de Comunicações.

O nível de potência exigido pelos receptores no solo para imagens de boa qualidade é tal que a potência irradiada efetiva do satélite é de, aproximadamente, 55 dbW. O feixe da antena estará confinado essencialmente ao país podendo porisso serem usados, feixes muito estreitos. Assim, o ganho da antena será da ordem de 30 db, e a potência de RF fornecida à antena do satélite é de, aproximadamente, 25 dbW ou 350 watts.

Os níveis de potência para os canais de comunicações não são tão altos, pois a maior parte da transmissão de dados será feita entre centrais de redes locais espalhadas pelo país ao passo que não haverá comunicações de ponto a ponto para todos os centros receptores de TVE. Consequentemente, essas centrais de redes locais e outros centros de comunicações possuirão equipamento mais sofisticado (Ver seção 3.2).

Existem duas importantes categorias de dispositivos capazes de produzir a potência de saída desejada com alta confiabilidade. São eles ou do tipo de interação de feixe eletrônico (válvulas de potência) ou dispositivos

de estado sólido. Nesta última categoria os multiplicadores Varactor e os osciladores de efeito Gunn, de fase controlada, são os únicos dispositivos que podem operar com alguma eficiência. A eficiência tem uma importância capital pois estão diretamente a ela relacionados (1) as exigências quanto à potência e, conseqüentemente às dimensões do painel solar; (2) controle térmico, uma vez que o excesso de energia deve ser reirradiado para o espaço para que seja mantida a temperatura do satélite abaixo de um certo máximo.

Para obter-se 350 watts com os dispositivos de estado sólido, seria necessário colocar em paralelo muitos amplificadores. As dificuldades previstas na manutenção de idênticas características de fase, numa larga banda de passagem em diversos amplificadores em paralelo e a relativamente pouco desenvolvida tecnologia associada aos osciladores de efeito Gunn tornaram este dispositivo desaconselhável por ora. Quando comparado a outras técnicas de aumento da eficiência, desenvolvidas para os dispositivos de interação de feixe eletrônico, o multiplicador Varactor também se afigura pouco aconselhável. Assim é que a nossa escolha do equipamento amplificador de potência ficou reduzida aos tipos de interação de feixe eletrônico tais como as válvulas de onda caminhante e klystrons.

4.2.3 Escolha da Válvula de Potência de Microondas

Na escolha da válvula de microondas que mais convém às nossas necessidades foram considerados as seguintes parâmetros: eficiência, ganho, largura de faixa, capacidade da potência de saída, e tempo de vida. Os requisitos do nosso sistema que definem os limites desses parâmetros são:

- (1) Uma potência de saída de pelo menos 350 watts por válvula.
- (2) Um ganho de potência de pelo menos 25 db por válvula (o sinal de entrada na válvula será da ordem de 1 watt).
- (3) Uma frequência de operação de 4 GHz.

A melhor escolha, baseada em válvulas desenvolvidas pela Hughes Aircraft Company e Eimac, é a válvula de onda caminhante ou progressiva (TWT). Além de ter sido essa válvula provada no espaço, os testes de confiabilidade indicam que se pode esperar dela um tempo de vida de 5 anos, no estado atual da arte.

Havia essencialmente quatro tipos de válvulas de microondas com suficiente capacidade de potência para nosso uso, uma vez que a frequência escolhida elimina imediatamente o triodo. Embora seja possível obter com triodos uma potência apreciável em 1 GHz com amplificadores de cavidade, acima dessa frequência, a potência de saída, o ganho, e a eficiência caem rapidamente. Além disso, nas frequências mais altas, os requisitos de longa vida e alta eficiência tornam-se incompatíveis.

As eficiências dos diferentes tipos de válvulas são extremamente importantes, pois a potência básica provirá de células solares. Um aumento de apenas 1% na eficiência pode acarretar consideráveis economias em peso e volume, e maiores incrementos na eficiência permitiriam uma simplificação da estrutura de suporte dos painéis solares.

A Tabela 4-4 indica os parâmetros dos quatro tipos possíveis de válvulas. A tabela permite tirar uma conclusão bastante óbvia.

Tabela 4-4
PARÂMETROS DA VÁLVULA

Válvulas	Ganho (db)	Eficiência	Banda de passagem (%)	tempo de vida (horas)
TWT* [2]	30	^a 40[8]	10-50	30.000-40.000
Amplitron	17	^b 55[6]	1-2	^c 2.000
Klystron	45	40	0,1-0,3	20.000
Klystron de interação estendida	4	60	1-2	Faltam dados

*Foi projetada recentemente, por várias companhias, uma válvula híbrida, combinando a TWT e o klystron. Dados da Twystron, versão Varian, são [3,5]:

ganho = 40 db

P_{out} = 1-2 kW

f₀ = 3 GHz

BW = 10%

eficiência = 50%

^aHughes Aircraft Company, usando novos conceitos, construiu recentemente uma TWT que dá uma eficiência de 62%. Todavia, o ganho saturado é de apenas 20 db.

^bRaytheon desenvolveu um amplitron de 100 kW com 70% de eficiência, mas não indicou se podiam ser mantidas eficiências comparáveis quando a potência de saída é reduzida.

^cComo este tipo de válvula é relativamente novo, poucos são os dados disponíveis sobre sua confiabilidade.

4.2.3.1 Técnicas de Aumento da Eficiência

Devido à extrema importância da obtenção de altas eficiências, foi feito um grande esforço para desenvolver técnicas de aumentar a eficiência. Três das mais promissoras são a "depressão de coletor", o adelgaçamento da estrutura da onda lenta, e salto de tensão ao longo da região de interação. Os últimos dois métodos tentam aproximar a velocidade do elétron da velocidade da onda caminhante de modo que possa ser mantida a relação apropriada à máxima transferência de energia.

O adelgaçamento da estrutura da onda é o mais fácil, mas por si só, pouco melhoramento produz. Por outro lado, ele é menos difícil do que a técnica do salto de tensão, que requer a introdução, na estrutura da onda lenta, de eletrodos de alta tensão isolados que devem penetrar no corpo da válvula.

A depressão do coletor tem sido utilizada com sucesso por vários anos, mas até recentemente o aumento da complexidade não compensava o ganho em eficiência, especialmente porque a maioria das aplicações era nas baixas potências e em estações no solo. Esse esquema reduz a velocidade dos elétrons no trecho entre o espaço de interação e os coletores. A redução da velocidade por ser obtida pela redução do potencial dos coletores, diminui a solicitação de potência da fonte, na realidade permitindo que esta recupere parte da energia originalmente gasta em acelerar os elétrons.

As vantagens decorrentes da combinação destes três métodos são facilmente reconhecidas. O primeiro exemplo disso é a válvula da Hughes com eficiência total de 62% [8] .

Já que estas técnicas existem atualmente, parece razoável supor que um esforço planejado de desenvolvimento poderá produzir uma válvula capaz de satisfazer os requisitos do satélite antes da data prevista para o lançamento.

4.2.3.2 Considerações Térmicas

Como consequência da alta potência de saída, o projeto térmico do sa
télite será centralizado no calor gerado nos coletores das válvulas de potên
cia. Supondo uma válvula com 60% de eficiência (relação entre as potências
RF e DC em cada válvula) para uma saída de 1 kW, isso deixa cerca de 650 watts
para serem dissipados como calor nas válvulas. Ainda mais, se 5% da energia
de entrada é perdida no corpo da válvula, então cerca de 585 watts serão dis
sipados nos três coletores.

Em última análise, qualquer calor gerado nas válvulas deve ser irra
diado para o espaço. Um método recentemente desenvolvido pela Eimac [4] usa
a radiação primária da própria área do coletor, eliminando assim os caminhos
de condução intermediários, sempre de menor eficiência. Como o calor irra
diado por um corpo é proporcional à quarta potência da sua temperatura, a efi
ciência térmica aumenta com a temperatura. Utilizando coletores de tungstênio
térmicamente isolados da válvula, o coletor é projetado para operar entre
1.500° e 1600°C e irradiar diretamente através de uma janela de safira. Efi
ciências térmicas de até 75% já foram observadas. Tomeu-se que as técnicas
de depressão do coletor eliminassem o uso da técnica de radiação direta, mas
a Eimac já combinou os dois efeitos usando cerca de 70% da depressão do cole
tor sem reduzir a eficiência térmica. Isso nos permitirá alcançar alta efi
ciência elétrica simultaneamente com alta eficiência térmica.

Os benefícios desta simultaneidade são mostrados na Fig. 4-5. Aí,
foi esboçada a eficiência elétrica versus a eficiência térmica com a potên
cia dissipada no satélite como parâmetro e supondo uma potência de entrada
de 2,5 kW.

Seria possível, mesmo com maior depressão do coletor, manter a temperatura do radiador suficientemente alta para obter irradiação eficiente aprimorando a focalização no anodo para aumentar a densidade de corrente nos coletores. A experiência mostra que pode ser alcançada uma variação considerável na temperatura do coletor pelo ajuste do foco [1] .

É este princípio da focalização que propomos como meio de utilizar o calor do coletor para evitar um rápido ciclo de temperatura, quando houver eclipse do satélite, Desfocalizando o feixe do coletor irradiante para um coletor em contato térmico com os tubos de calor do satélite, a energia pode ser preservada para aquecer o satélite.

4.2.4 Escolha da Configuração do Sistema de Comunicações

Em virtude do alto nível de potência requerido, a TWT deve ser operada tão eficientemente quanto possível, a fim de evitar a produção de qualquer calor além do necessário e reduzir a demanda na fonte primária de potência, o que por sua vez reduzirá o peso. A máxima eficiência ocorre na região de potência saturada. Essa região é não-linear e por isso se for necessário amplificar mais de um sinal, serão gerados componentes harmônicos de ordem superior. Alguns desses componentes estão dentro da banda de passagem dos sinais originais e constituem assim um tipo de ruído chamado de distorção de intermodulação. Seu efeito pode ser minimizado por uma escolha judiciosa das frequências do sinal; entretanto, as frequências para isso necessárias raramente são adjacentes, e além do mais, os componentes de intermodulação representam um desperdício de potência. A solução alternativa de multiplexar os dois canais de TVE e os canais de comunicações em uma portadora única não é permitida devido à dificuldade encontrada em demodular convenientemente no

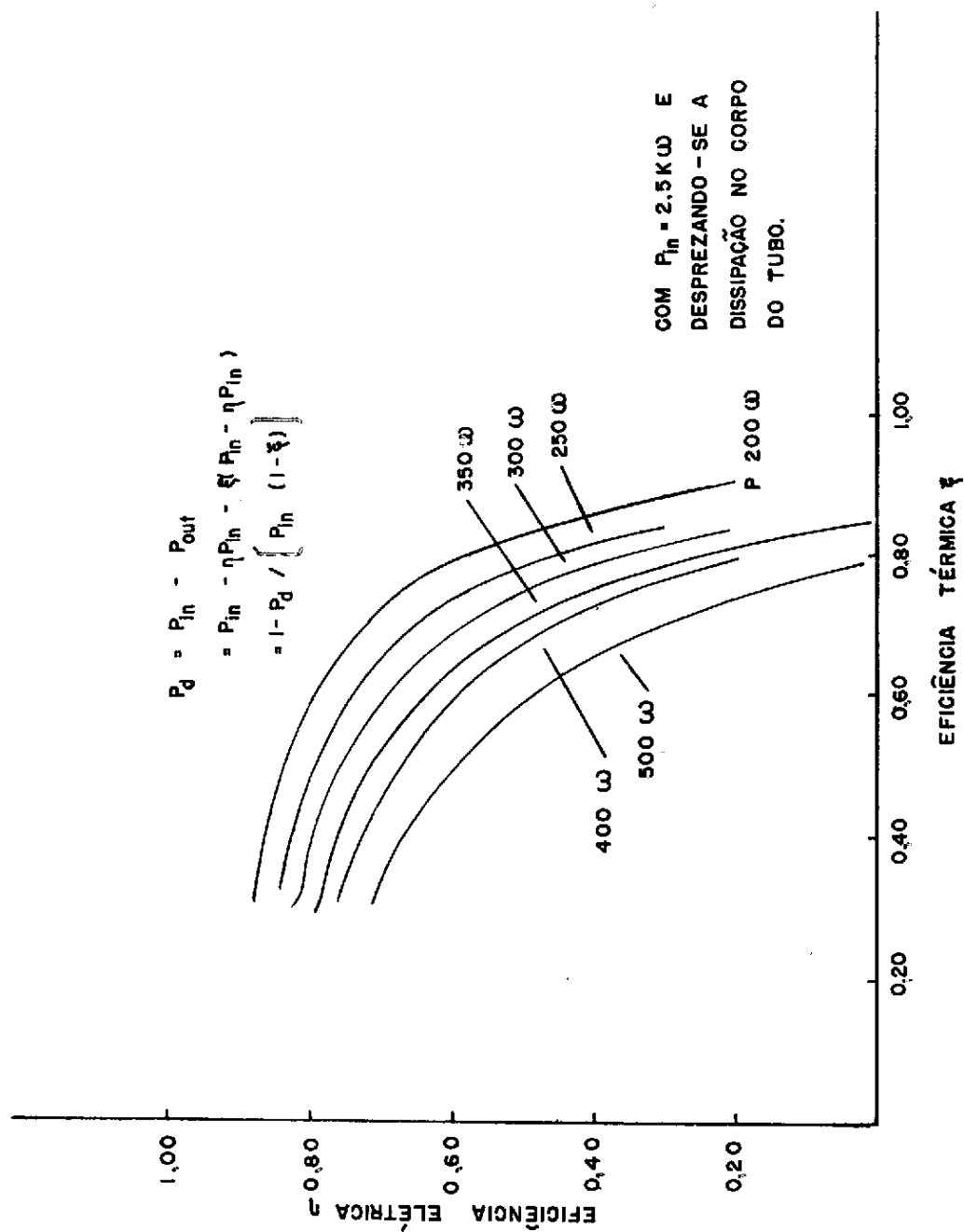


Fig. 4-5. RELAÇÃO ENTRE AS EFICIÊNCIAS.

solo esse sinal de banda extremamente larga.

Consequentemente, para satisfazer conjuntamente aos diversos requisitos de máxima eficiência, alta potência, e diversos canais de TVE, a melhor solução é usar válvulas separadas para cada seção. Esta escolha conduz naturalmente a várias seções excitadoras separadas. Uma vez que o tempo de vida pré-estabelecido é de 5 anos, considerações de confiabilidade indicam que conviria usar três sistemas separados para minimizar a perda devida a uma falha de sub-sistema. Assim, a fixação de 15 canais de 30 MHz na ligação satélite-terra é dividida em cinco caminhos de sinal separados por seção do receptor, como indicado na Fig. 4-6.

4.2.4.1 Receptor-Modulador e Excitador

O receptor-modulador deve aceitar duas espécies de sinais: (1) sinais de vídeo e sinais de FM já multiplexados, que serão transferidos da frequência da ligação terra-satélite para a frequência da ligação satélite-terra, e (2) canais singulares em SSB-AM de voz e dados, os quais serão processados e multiplexados em um sinal FM na frequência do elo satélite-terra. A Fig. 4-7 apresenta um diagrama de bloco de um caminho do sinal em um dos canais de 30 MHz.

O sinal de terra, recebido pela antena, é separado pelo diplexador e dirige-se aos 3 terminais dianteiros do receptor. Existem três diodos túnel amplificadores com bandas de passagem escalonadas que fornecem pré-seleção e amplificação. Os sinais terra-satélite podem então ser separados em 5 caminhos diferentes e misturados com vários osciladores locais para fornecer a frequência intermediária desejada, como na Fig. 4-7, ou podem ser misturados com um oscilador local e amplificador por amplificador de FI de faixa larga e

CANAIS 1-5

3,700 - 3,866 GHz

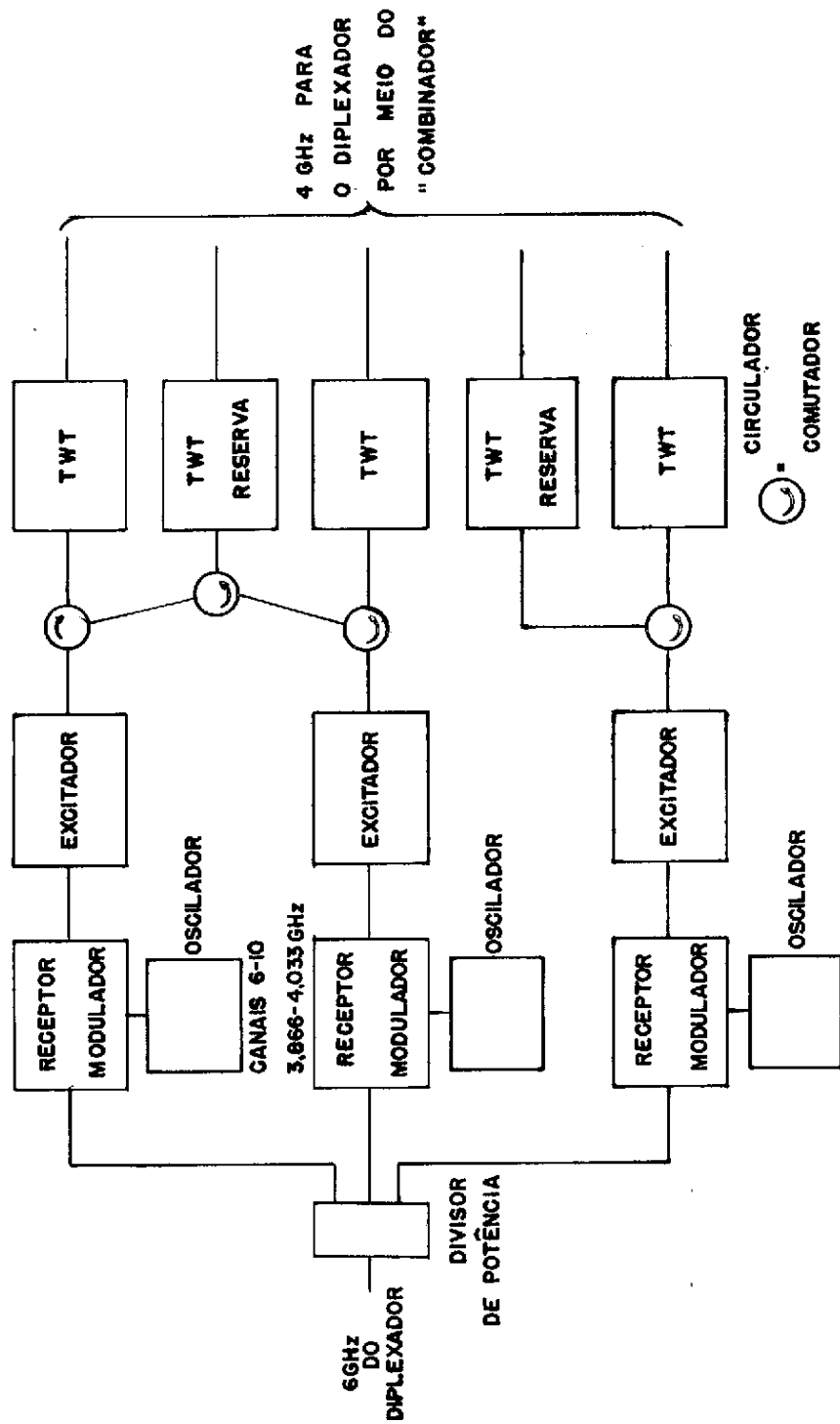


Fig. 4-6. DIAGRAMA DE BLOCO DO SISTEMA DE COMUNICAÇÕES

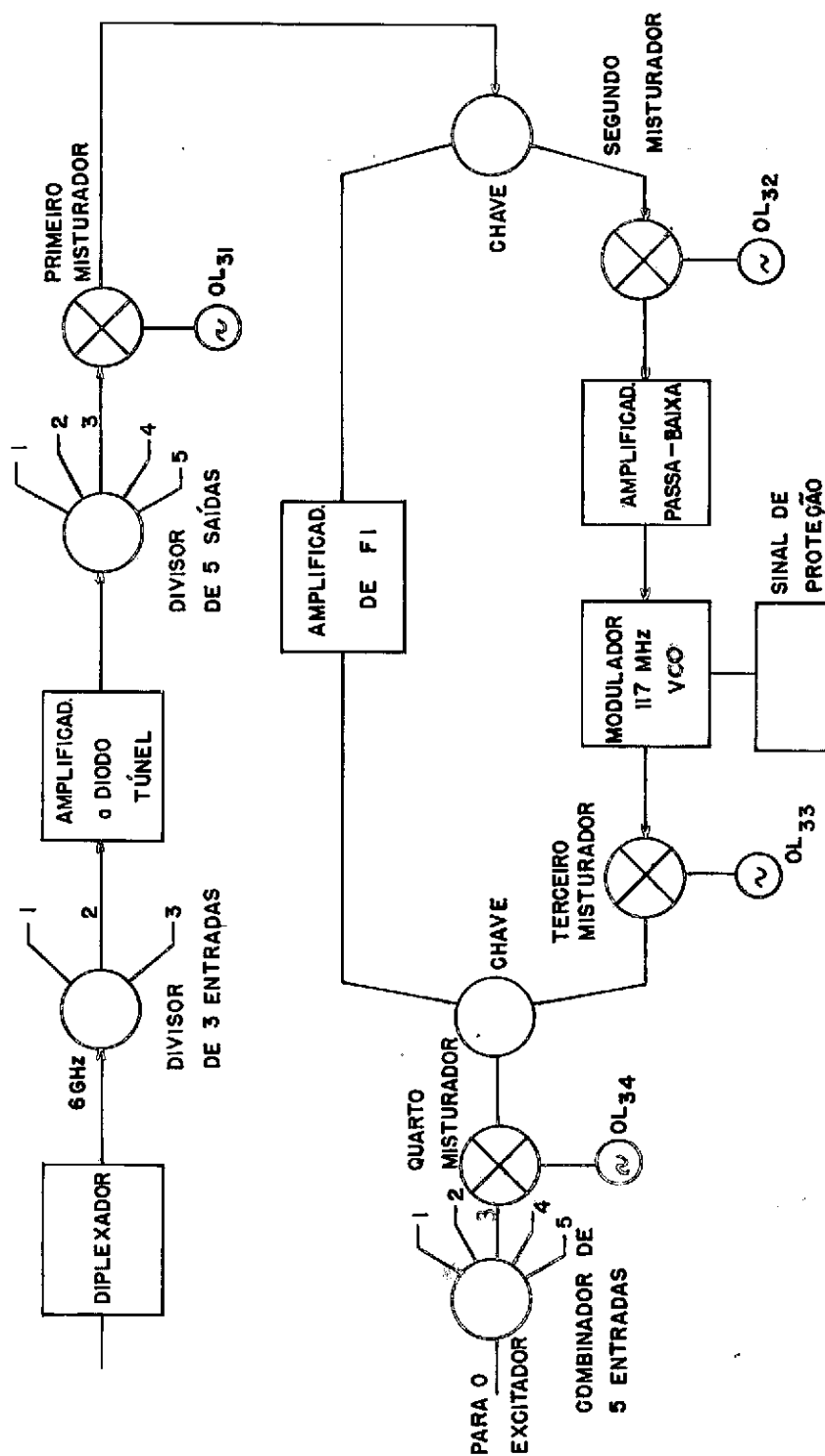


Fig. 4-7. DIAGRAMA DE BLOCO PARA O CAMINHO DO SINAL EM UM DOS CANAIS DE MHz.

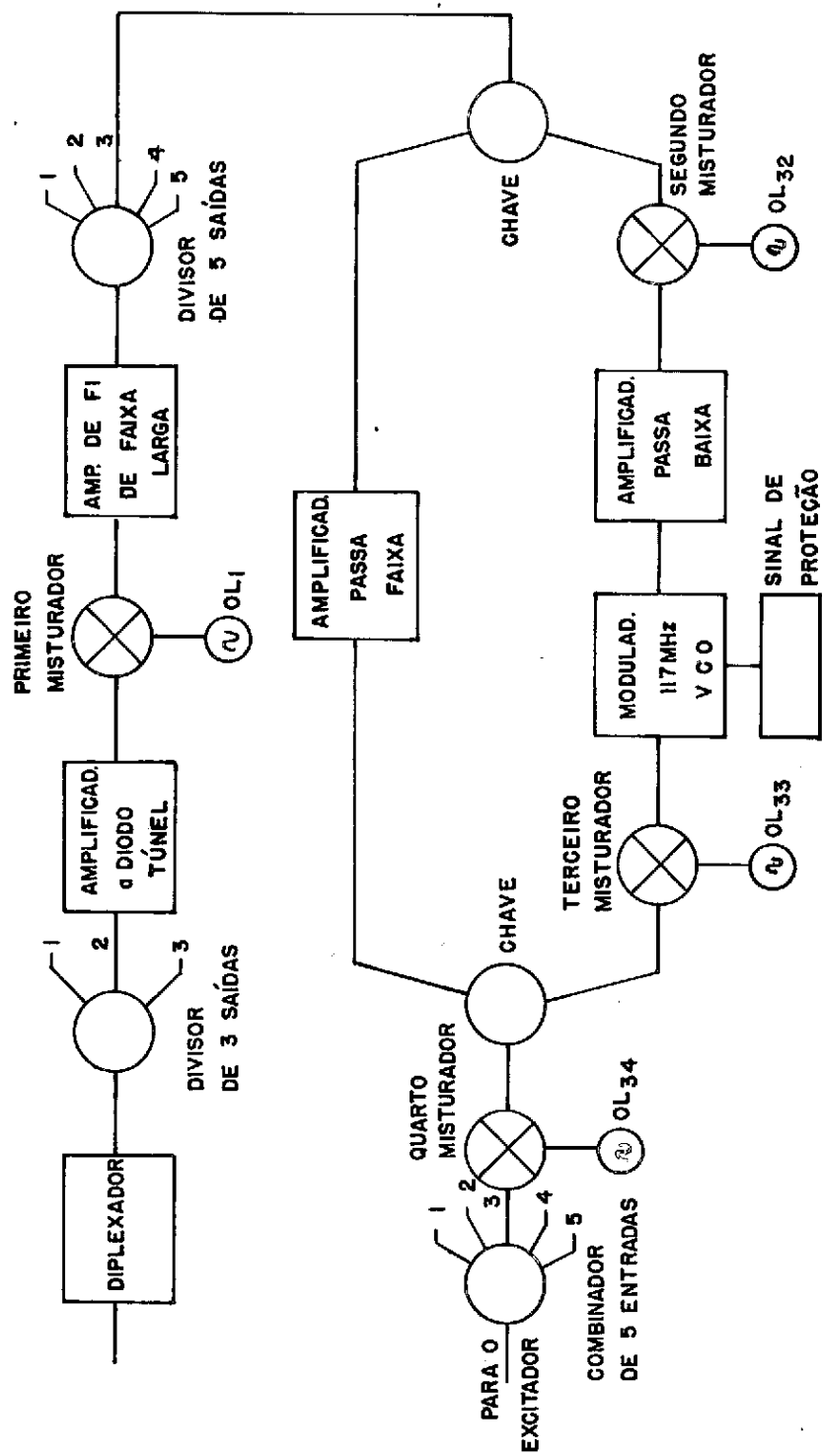


Fig. 4-8. DIAGRAMA DE BLOCO ALTERNATIVO PARA O CAMINHO DE SINAL PARA UM CANAL DE 50 MHz.

estão separados em 5 canais, como na Fig. 4-8. Em qualquer dos casos, os si nais de vídeo vão diretamente ao misturador da ligação satélite-terra via uma chave e um amplificador passa-banda. Sinais de SSB-AM de faixa estreita são novamente misturados para a obtenção de uma segunda frequência intermediária. Dependendo de suas posições relativas na seção terra-satélite, esses sinais de voz ou de dados estarão empilhados até o limite superior de 6 MHz. Este grupo de sinais de frequências discretas é amplificado e usado para excitar um oscilador controlado por tensão, o qual gera um sinal de FM multiplexa do.

O modulador de oscilador controlado por tensão também deve gerar in ternamente um sinal de proteção, no caso das transmissões terra-satélite se rem interrompidas por uma razão qualquer. Existem 3 razões que exigem esta proteção:

- (1) Com propósitos de confiabilidade, as válvulas amplificadoras de po tência devem ter tensões fixas de alimentação e operação contínua mente dia e noite exceto durante eclipses.
- (2) Existe uma densidade máxima de potência permissível no solo, que é função da largura total de faixa do sinal transmitido. No caso de nenhum dado ser transmitido para o satélite, o sinal portador reduz-se a uma frequência única e a limitação da densidade de potência po de ser excedida. Para evitar tal inconveniente, poderia ser injeta do no modulador, um sinal auto-modulado gerado internamente com uma frequência superior à maior frequência do sinal modulante. Este tom pode ser ligado por um "gatilho" que deteta a perda do sinal terra-satélite ou pode ser introduzido com uma "malha" de CAG que aumen ta a amplitude do tom quando os sinais do solo desaparecem.
- (3) No caso de translação direta dos sinais de vídeo, a perda do sinal acarretaria o aparecimento, sob forma de calor no coletor, de tôda potência D.C. entrada na válvula; esse calor poderia ser mais forte do que aquele que o radiador de tungstênio poderia suportar efetiva mente. Assim o modulador seria ligado para fornecer a portadora de auto-proteção.

O amplificador excitador deve ser capaz de fornecer o nível apropria do de saída para excitar a TWT tanto para o sinal de vídeo de uma sô porta

dora como para os sinais de comunicações de cinco portadoras. Devido à distorção de inter-modulação, a TWT, quando transmitindo as cinco portadoras, deve ficar 2 db abaixo da saturação (Ver Seção 3.4). Assim duas malhas de CAG são usadas para controlar o nível de excitação. Um sistema de CAG é usado ao invés de um limitador convencional por não ser necessária capabilidade contra interferência provocada. O amplificador excitador pode ser um TWT pequeno ou um sistema de estado sólido. Neste último caso o sistema de CAG será mais fácil de realizar pois deverão existir diversos estágios para a obtenção do nível de ganho e potência requeridos.

4.2.4.2 Descrição das Frequências Internas Requeridas

Uma vez que a menor banda de passagem de um canal é realmente de 33,33 MHz (incluindo as bandas de guarda), é lógico utilizar esta frequência para o oscilador estável de referência. Todas as frequências desejadas do oscilador local podem ser obtidas por mistura e multiplicação dêste sinal básico.

Neste sistema, a banda de 3.7 a 4.2 GHz é dividida em 15 canais de 30 MHz; cada módulo do receptor gera 5 dêsses canais. Já que o mêtodo empregado para a geração dêstes sinais do oscilador local é o mesmo para todos, sô será explicado o módulo 1 do receptor.

O modulador é um oscilador controlado por tensão excitado pelo sinal de 6 MHz. O desvio total necessário é de aproximadamente, ± 12 MHz. Uma vez que a frequência do oscilador será misturada na faixa de 4 GHz, e que convém que os produtos dos dois produtos da mistura sejam fácilmente separáveis, 100 MHz é um limite razoável para a frequência inferior do oscilador.

Esta configuração típica usa 116,67 MHz. A frequência central da ligação sa télite-terra para cada canal de 30 MHz é gerada da seguinte maneira:

- (1) A saída do oscilador mestre estável é multiplicada sucessivamente 108 vezes para obter-se uma quarta frequência do oscilador local de 3.600 GHz. Este sinal é usado em cada um dos misturadores nº4 (ou quarto misturador) do receptor 1.
- (2) A saída de 116,67 MHz do oscilador controlado por tensão é misturada com um harmônico do oscilador mestre estável para produzir a frequência aditiva necessária à colocação de sinal na janela própria no espectro.

Os harmônicos do oscilador mestre estável que são necessários encontram-se na tabela 4-5. A distribuição dos canais do receptor 1 está indicada na Fig. 4-9. As frequências internas dos dois receptores restantes podem ser geradas similarmente, com uma quarta frequência conveniente do oscilador local.

4.2.5 Maneira de Operação

Antes de alcançar a órbita prevista e começar a operar permanentemente, o sistema de telecomunicações de alta potência estará inativo. Os filamentos dos 3 TWT estarão ligados e alimentados por células solares montadas na seção rotativa inferior. Essas células também fornecerão potência ao sistema de comando e de telemetria. Depois do desenrolamento dos painéis solares e da verificação inicial, terá início a operação normal. Existem duas maneiras básicas de operação: TVE e comunicações. O grau de operação em cada uma varia em função dos três seguintes períodos: período diurno, noturno e eclipse solar em relação ao satélite.

Tabela 4-5

FREQUÊNCIAS DO OSCILADOR LOCAL NA LIGAÇÃO SATÉLITE-
TERRA PARA O MÓDULO 1 DO RECEPTOR

Canal nº	Saída do Quarto Mistura dor (GHz)	Saída do Terceiro Misturador (MHz)	Harmônicos do Oscilador Mestre Estável
1	3,717	117	Nenhum requerido
2	3,750	150	1
3	3,783	183	2
4	3,817	217	3
5	3,850	250	4

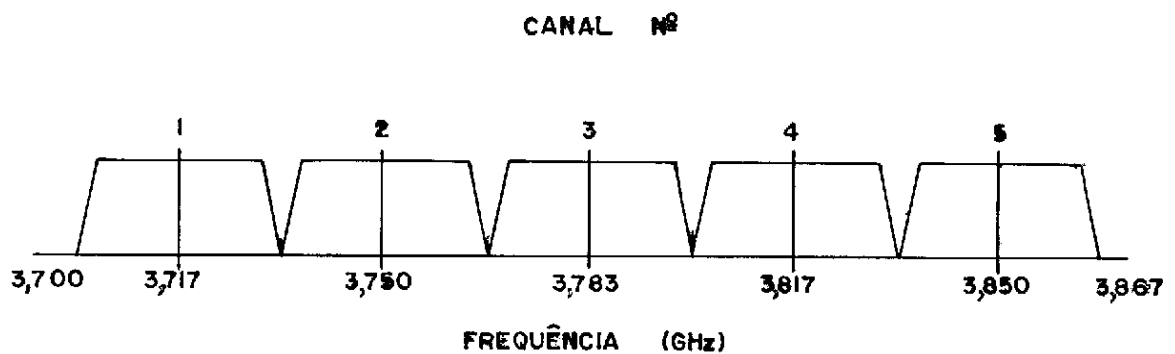


Fig. 4-9. DISTRIBUIDOR DOS CANAIS DO RECEPTOR 1.

Na operação diurna, no começo da vida do satélite, uma das TWT transmitirá material da TVE, e as outras operarão em comunicações. Perto do fim da vida, quando as facilidades de programação do país tiverem crescido poderão ser transmitidos dois canais de TVE.

Na operação noturna, o sistema operará totalmente no modo das comunicações embora programas de televisão de interesse nacional possam ser transmitidos.

Durante os equinócios, o satélite passa através da sombra da Terra na meia-noite local. A duração do eclipse varia de zero a 69 minutos num período de 6 semanas durante cada equinócio. Nessas ocasiões, a potência d.c. para duas das válvulas TWT será consideravelmente reduzida, enquanto a terceira válvula permanecerá em operação. A potência d.c. é fornecida por uma bateria recarregável (descrita na Seção 4.3). Os filamentos são deixados ligados sendo mantida uma certa corrente de feixe para evitar ciclo térmico e deterioração da confiabilidade.

REFERÊNCIAS

1. Dennis Boilard, personal conversation. Mr. Boilard is with Eimac, Division of Varian, 301 Industrial Way, San Carlos, California.
2. N.E. Feldman, "Communications Satellite Output Devices", Microwave J., 8, Dezembro de 1965, pp. 87-97.
3. Joseph F. Hull, "Microwave Tubes at the Mid-Sixties", IEEE Conv. Rec., Part 5, 1965, pp. 67-78.
4. E. L. Lien, A. Mizuhara, and D.I. Boilard, "Electrostatically-Focused Extended-Interaction S-Band Klystron Amplifier", Technical Report, Outubro de 1966, Eimac.

5. T. Moreno, "High Power Linear Beam Tubes", IEE Conv. Rec., Part 5, 1965, pp. 2-4.
6. Raytheon Company, "Design of a Power Amplifier for a 10-kw Satellite Television Transmitter", Technical Proposal PRP-2144 TL, Janeiro de 1967 Microwave and Power Tube Division.
7. N. G. Sakiotis, "Beyond Integrated Circuits", Motorola a Engineering Bull., 15, inverno 1967, pp. 3-14.
8. O.G. Sauseng and M. N. Ernstoff, "Advancements in TWT Efficiency with Combined Voltage Jump, Velocity Tapers and Enhanced Beam Bunching", Technical Report No. 26, November 1966, Microwave Tube Division, Hughes Aircraft Company.

Reconhecimento

A assistência do Senhor Brian A. Pegg da Philco-Ford Corporation é grata mente reconhecida pelos seus valiosos comentários e sugestões em relação ao projeto do sistema de telecomunicações.

4.3 O SISTEMA DE ANTENA E DE ALIMENTAÇÃO

O sistema de antena e alimentação representa o maior subsistema do Satélite. Seu projeto deve incorporar todos os modos de operação necessários e as características de desempenho desejadas, mesmo operando sob as restrições impostas pelo resto do sistema. Serão aqui consideradas a compatibilidade de do sistema e sua otimização geral.

4.3.1 Avaliação dos requisitos de iluminação

Antes de propor os projetos do sistema da antena e da alimentação, terão de ser esboçados os requisitos de iluminação do sistema da antena.

Os requisitos de iluminação da antena transmissora+receptora dependem da geografia do país. A iluminação apropriada ocorre quando o contorno do feixe nos pontos de meia potência (-3dB) circunscreve o país em questão. O contorno de feixe proposto e os cálculos associados são ilustrados na Fig. 4-10. Os cálculos foram feitos supondo a terra perfeitamente esférica com um diâmetro de 12740 km, e chegou-se à conclusão que é necessário um feixe circular de $7^{\circ} 10'$.

Não foi utilizada a técnica do "ângulo de iluminação enviezado" caracterizada pela colocação do satélite numa tal órbita que o país em mira fique enviezado ou achatado no horizonte. Isto de fato reduz a largura do feixe e aumenta a potência efetiva disponível para iluminar o país. Esta técnica não será usada a menos que haja uma necessidade drástica de aumentar o ganho da antena, uma vez que suas implicações políticas e legais são ainda desconhecidas.

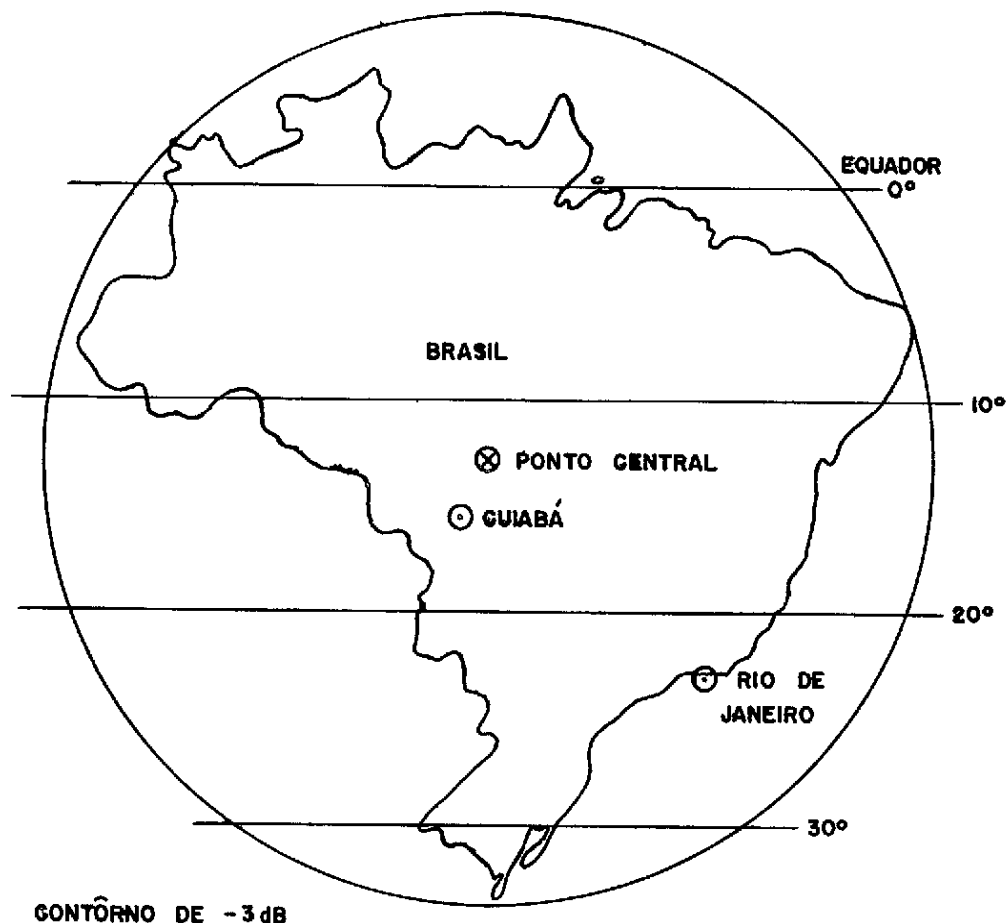


Fig. 4-10 PLANO DE ILUMINAÇÃO PARA O BRASIL. Cálculos: O raio do contôrnio de -3 db é 2317 km, que representa a calota da Terra de $41,5^\circ$ coberta pelo país. Isto é uma corda de 4500 km. Assim, é necessário um feixe circular de $7^\circ 10'$ proveniente de uma órbita síncrona.

É necessário que a antena sensora de atitude tenha um ângulo de captura de $\pm 10^\circ$ em ambos os planos: elevação e azimute. Dispor-se-á de informação sensora adicional mediante um dispositivo auxiliar com maior varredura angular.

O sistema da antena de telemetria será tão onidirecional quanto possível. A antena onidirecional é necessária à telemetria e ao comando durante o período de aquisição inicial. Uma vez atingido o estado estacionário em órbita o sistema será também usado para os sinais contínuos de comando e telemetria.

4.3.2 Antena Receptora-Transmissora

Na tentativa de atender e simultaneamente explorar todos os requisitos do sistema completo, foi escolhida uma antena parabólica com alimentação cassegrain para uso na recepção-transmissão. Aham-se comentadas a seguir as características proeminentes da antena proposta tendo em vista os requisitos e imposições do sistema.

1. Plataforma Estável. A antena será montada em uma "plataforma fixa" sempre localizada de tal forma que a antena esteja apontada para o seu objetivo. Se uma perturbação afasta a plataforma de sua posição ela será automaticamente recolocada em posição pelo sistema de controle de atitude a bordo do satélite. Esta exigência do sistema permite o uso de uma antena com alimentação cassegrain porque o alimentador nunca será movido para orientar o feixe da antena. A plataforma estável também elimina as juntas rotativas que são normalmente necessárias numa antena de rotação controlada. O projeto de juntas rotativas de alta potência para os guias de onda teria sido uma tarefa de grande envergadura e talvez impossível. A antena alimentada por trás é também desejável em virtude das considerações mecânicas, térmicas e elétricas do projeto do satélite. Esse tipo de alimentação torna mínimos os comprimentos dos

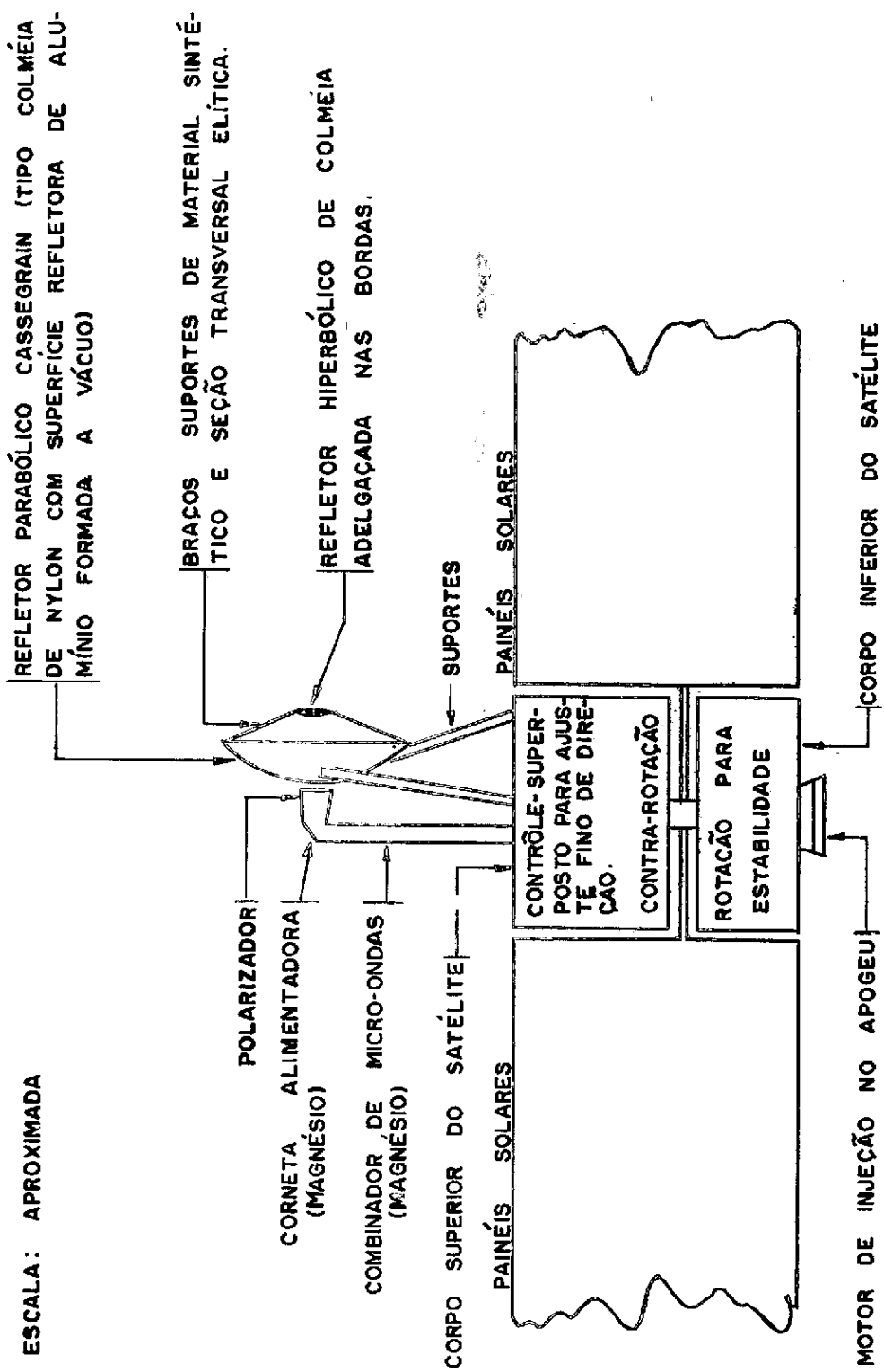


Fig. 4-11. SISTEMA DA ANTENA RECEPTORA-TRANSMISSORA.

ESCALA: APROXIMADA

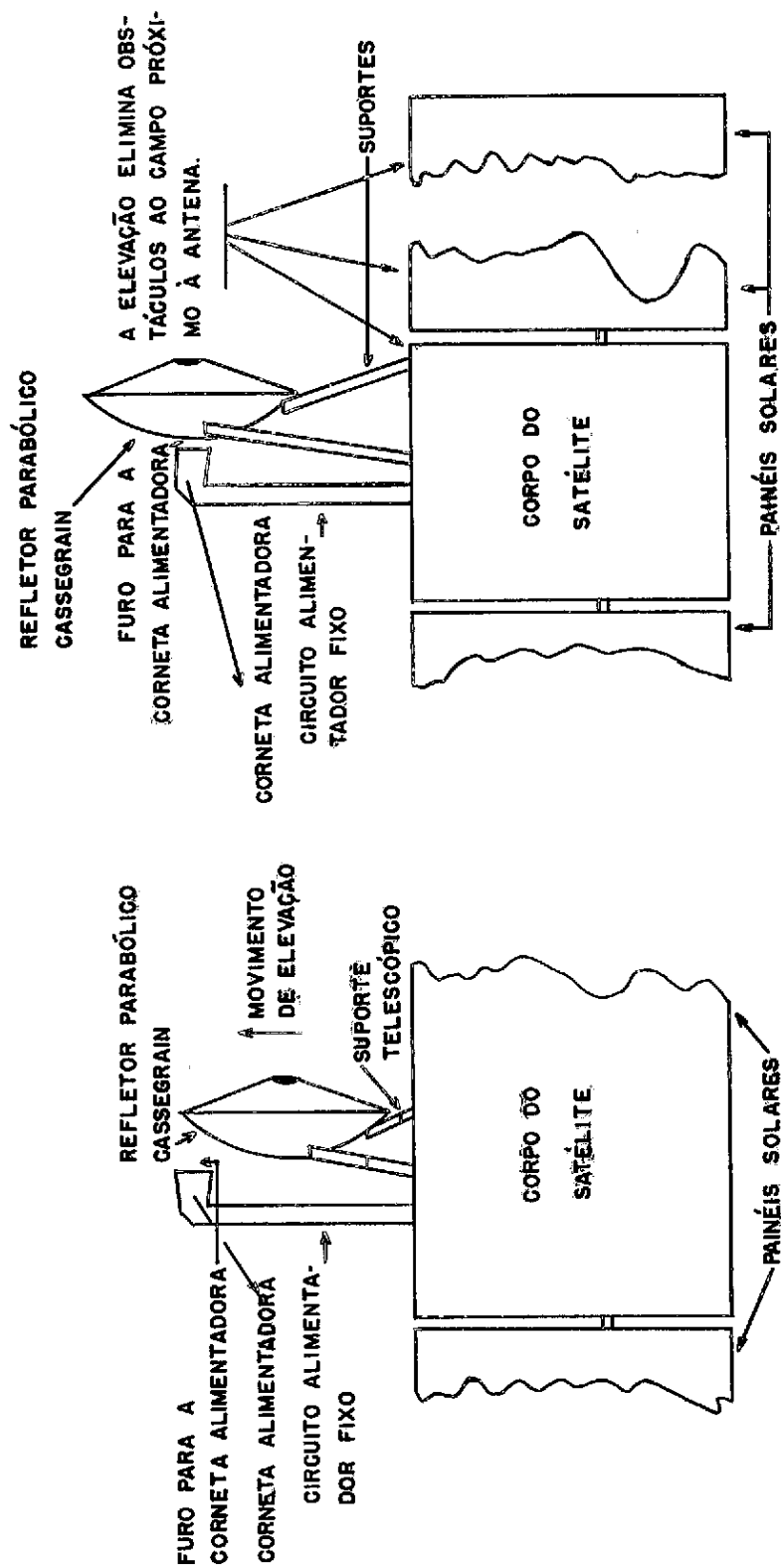


Fig. 4-12. POSIÇÕES DE ELEVAÇÃO DA ANTENA.

trechos de guia de onda para antena e reduz o calor transferido para a estrutura dela. Outra vantagem da antena alimentada por trás é que ela fica fora da linha de centro do satélite e pode ser estendida na direção vertical. Isso minimiza a interferência entre o topo do satélite e o feixe da antena. A disposição da plataforma é ilustrada pelas Figs. 4-11 e 4-12.

2. Alta Potência. O sistema da antena deve ser capaz de operar continuamente 1 kW de potência de rádio-frequência. As antenas de refletores parabólicos com qualquer tipo de alimentação direta atendem de forma muito conveniente a este requisito.

3. Baixa Perda - Alto Ganho. O sistema da antena deve ter alto ganho e perdas internas tão baixas quanto possíveis para irradiar a potência do satélite com eficiência muito alta. O parabolóide com alimentação cassegrain é inerentemente bem adaptado a este requisito, oferecendo ganhos muito altos e um dispositivo alimentador de baixa perda.

4. Polarização Circular. Tanto o sinal do transmissor como o do receptor serão circularmente polarizados. A antena proposta é capaz de operar com estes sinais tanto usando um alimentador circularmente polarizado como uma placa circular de polarização na boca da corneta alimentadora.

5. Operação em Banda Larga. A transmissão operará em 4.0 GHz com uma largura de faixa de 8% e com polarização circular à esquerda. A recepção operará em 6.0 GHz com uma largura de faixa de 5% e com polarização circular à direita. Uma antena parabólica com alimentação tipo cassegrain é capaz de proporcionar essas operações simultaneamente, mas com diferentes larguras de feixe

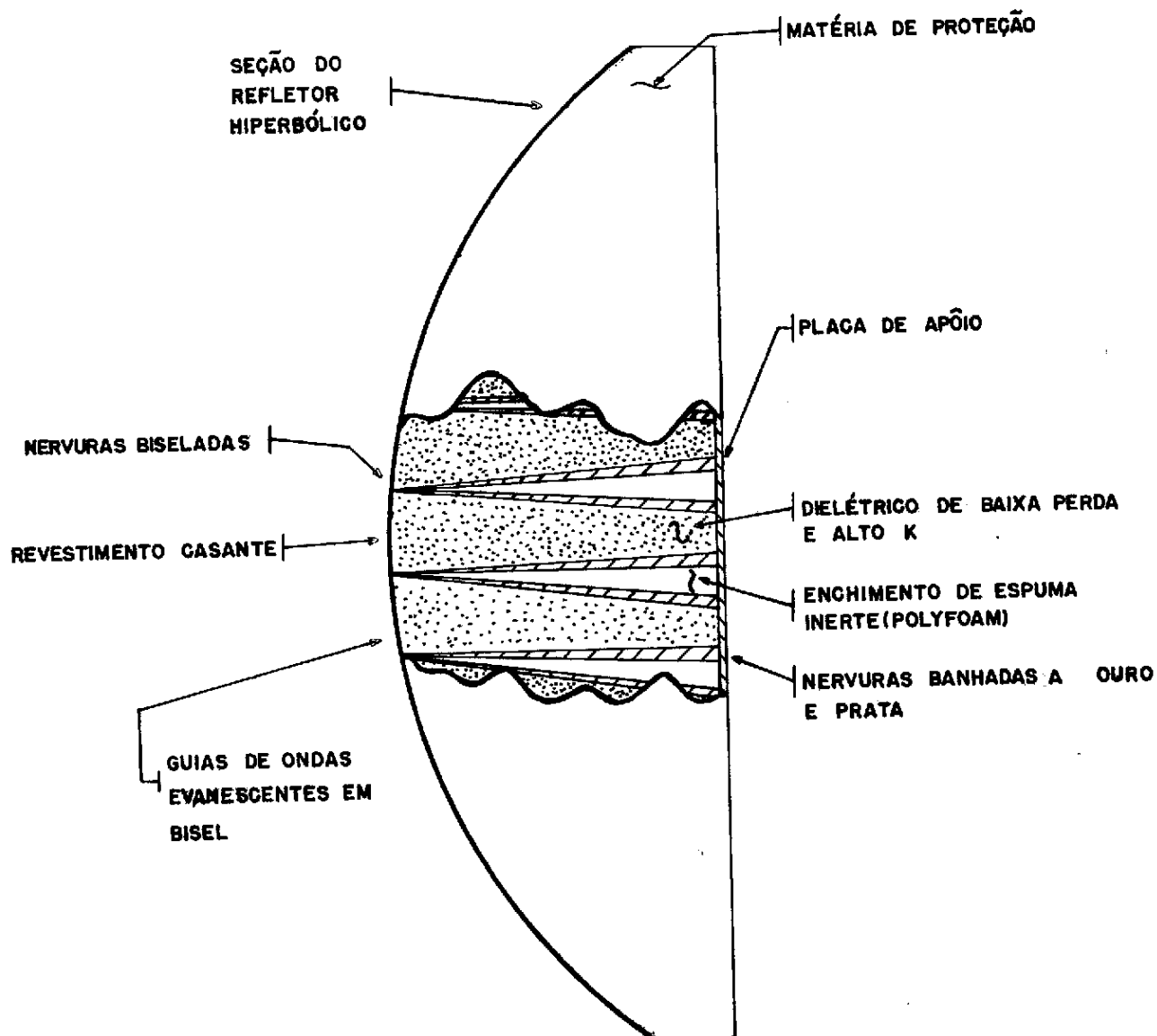


Fig. 4-13. REFLETOR HIPERBÓLICO FUNÇÃO DA FREQUÊNCIA. Os guias de onda são ajustados e adelgaçados de tal forma que a superfície refletora efetiva seja uma hipérbole função da frequência. O refletor efetivo é capaz de variar a abertura da iluminação e assim manter constante a largura do feixe para diferentes frequências.

e ganhos diferentes para cada frequência. Entretanto, é necessário que os modos de transmissão e recepção tenham aproximadamente o mesmo ganho. Mediante construção apropriada do sub-refletor usando uma colmeia adelgada nas bordas (Veja Fig. 4-13), o aspecto elétrico da superfície refletora pode ser ajustado como uma função da frequência. Isso provocará uma mudança na abertura de iluminação tal que a largura do feixe e o ganho da antena serão praticamente uma função constante da frequência. Assim a largura de faixa da antena será limitada só pelo sistema alimentador.

6. Leveza e Rigidez. A antena é construída de colmeia de nylon com uma superfície refletora de alumínio formada a vácuo; a gargantilha será de construção tipo sanduíche. Essa técnica permite obter aproximadamente $1m^2$ de superfície refletora para cada 0,122 kg de peso da estrutura da antena. Portanto, o peso dos refletores não excederia 1,5 kg para o maior refletor. O uso destas técnicas de construção comprovou sua robustez no Mariner IV lançado para Marte.

7. Dimensão, Ganho Teórico e Ganho Previsto. O máximo ganho teórico de uma antena pode ser expresso aproximadamente pela fórmula:

$$\text{Ganho}_{\text{max}} \approx \frac{4 (360)^2}{\pi^2 \phi \theta} \approx \frac{52500}{\phi \theta} \quad (1)$$

onde se supõe que o feixe tem forma elítica com uma largura de feixe de meia potência de ϕ graus no eixo maior e θ graus no eixo menor.

Admitindo-se que a eficiência da abertura do refletor parabólico é de 65% (que é considerada ótima quando é feito um estudo comparativo de ganho versus nível de lobos laterais), a dimensão da abertura pode ser obtida pela fórmula:

$$D = \frac{65\% \lambda}{\alpha} \quad (2)$$

onde λ é o comprimento de onda do sinal em uso e α é a largura em graus do feixe de meia potência desejado.

Os máximos ganho teórico e tamanho do refletor foram calculados pelas fórmulas (1) e (2). Observe-se que as larguras de feixe necessárias à iluminação apropriada são aumentadas de mais ou menos um décimo de grau ($\pm 0,1^\circ$) para levar em conta o possível erro de direcionamento da antena. Os resultados estão listados na Tabela 4.6. Observe-se ainda que os diâmetros da antena estão bem dentro das dimensões permitidas pelo diâmetro de 1,52m do casco de lançamento Agena.

Tabela 4-6

LARGURAS DE FEIXE CORRIGIDAS, DIÂMETROS DA ABERTURA
E MÁXIMO GANHO TEÓRICO

Eixo Maior		Eixo Menor		Ganho Máximo	
Largura do feixe	Diâmetro da Abertura (m)	Largura do Feixe	Diâmetro da Abertura (m)	Absoluto	Decibéis
$7^\circ 22'$	0,662	$7^\circ 22'$	0,662	971	29,88

As perdas aproximadas, da saída dos amplificadores de onda caminhante até a antena são dadas na Tabela 4-8.

Tabela 4-7

PERDA TOTAL ESTIMADA DA SAÍDA DO AMPLIFICADOR
A TWT PARA O SINAL IRRADIADO

Perda	Decibéis
Linha	0,50
Descasamento	0,25
Polarizador	0,25
Fator de eficiência da abertura	1,85
Total de perdas	2,85

De acordo com os dados da Tabela 4-7, o ganho previsto para a antena é de 27,03 dB.

8. Sistemas de Alimentação. O problema do sistema de alimentação é triplice. O complicado refletor hiperbólico de banda ultralarga, acima descrito, deve ser projetado e fabricado. A corneta alimentadora primária deve ser escolhida e modificada para produzir ótima abertura de iluminação em amplitude e fase junto com o sub-refletor. Um circuito combinador de micro-ondas terá que ser projetado para misturar, sem interação, três sinais com diferentes amplitudes e frequência. Algumas idéias sobre esses problemas são ilustradas nas Figs. 4-13, 4-14 e 4-15.

4.3.3 Sistema Sensor de Atitude

Usa-se um sistema de sensor de atitude para gerar sinais de erro para o sistema de controle de malha fechada destinado a apontar a antena com

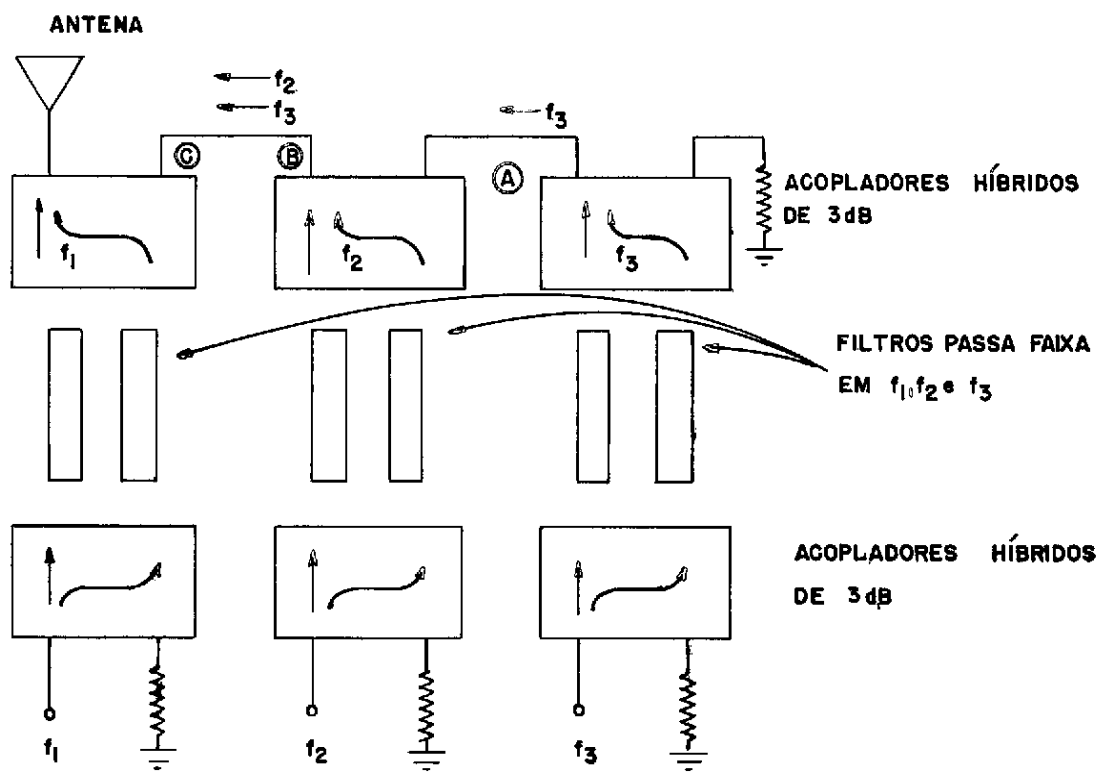
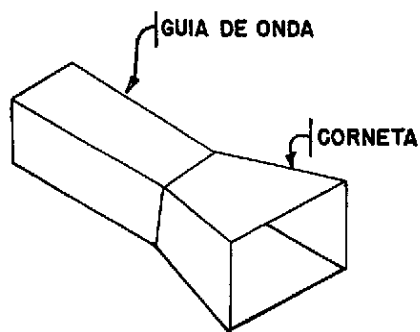
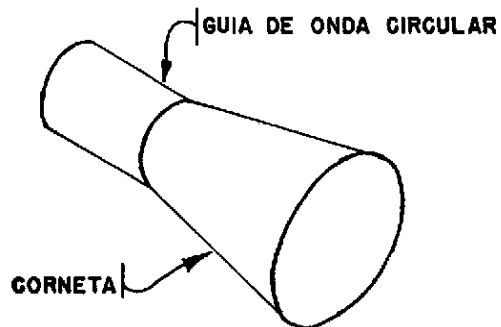


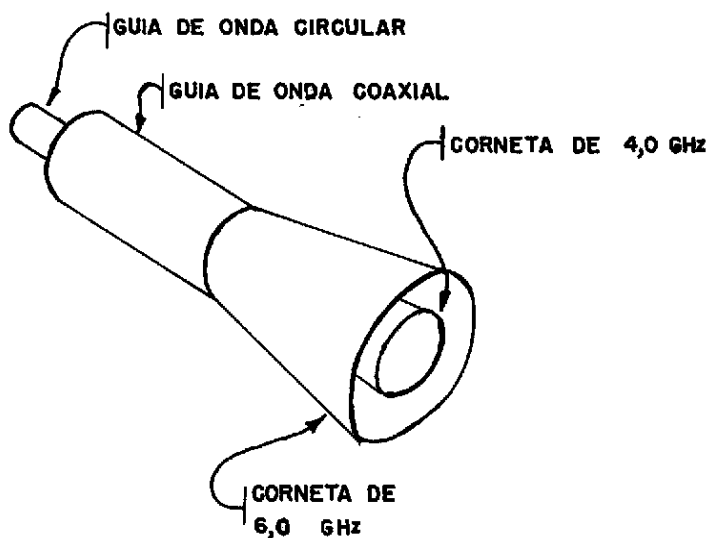
Fig. 4-14. UM COMBINADOR HÍBRIDO COMPACTO COM BAIXA PERDA POR INSERÇÃO CONSTITUÍDO POR VÁRIOS FILTROS PASSA-FAIXA EM PARALELO POR SEÇÃO. Os acopladores híbridos de 3 db são acoplados através de filtros passa-faixa que funcionam como curto-circuitos nas frequências fora da faixa de passagem de cada um. Consequentemente para a energia na frequência f_3 entrando em direção a (A), existe um curto circuito no filtro central, está sintonizado em f_2 , e por isso prossegue para o próximo híbrido em (C). Aqui o mesmo acontece com as energias de frequências f_2 e f_3 . Assim toda a energia atinge a antena, e as três fontes de sinal ficam isoladas uma da outra [1].



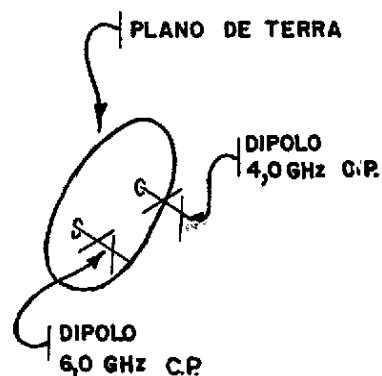
A. CORNETA PIRAMIDAL



B. CORNETA CIRCULAR



C. CORNETA DUPLA CIRCULAR E COAXIAL



D. CORTINA DUPLA DE DIPOLOS

Fig. 4-15. POSSÍVEIS CONFIGURAÇÕES DA CORNETA DE ALIMENTAÇÃO

precisão . O esquema proposto consta de uma rede de "end fire" de quatro elementos helicoidais sobre um chassis que serve de plano de terra, trabalhando como um sistema de fase monopulsada com uma precisão de $\pm 0,1^\circ$. Para evitar informações direcionais ambíguas devidas aos lobos laterais da antena

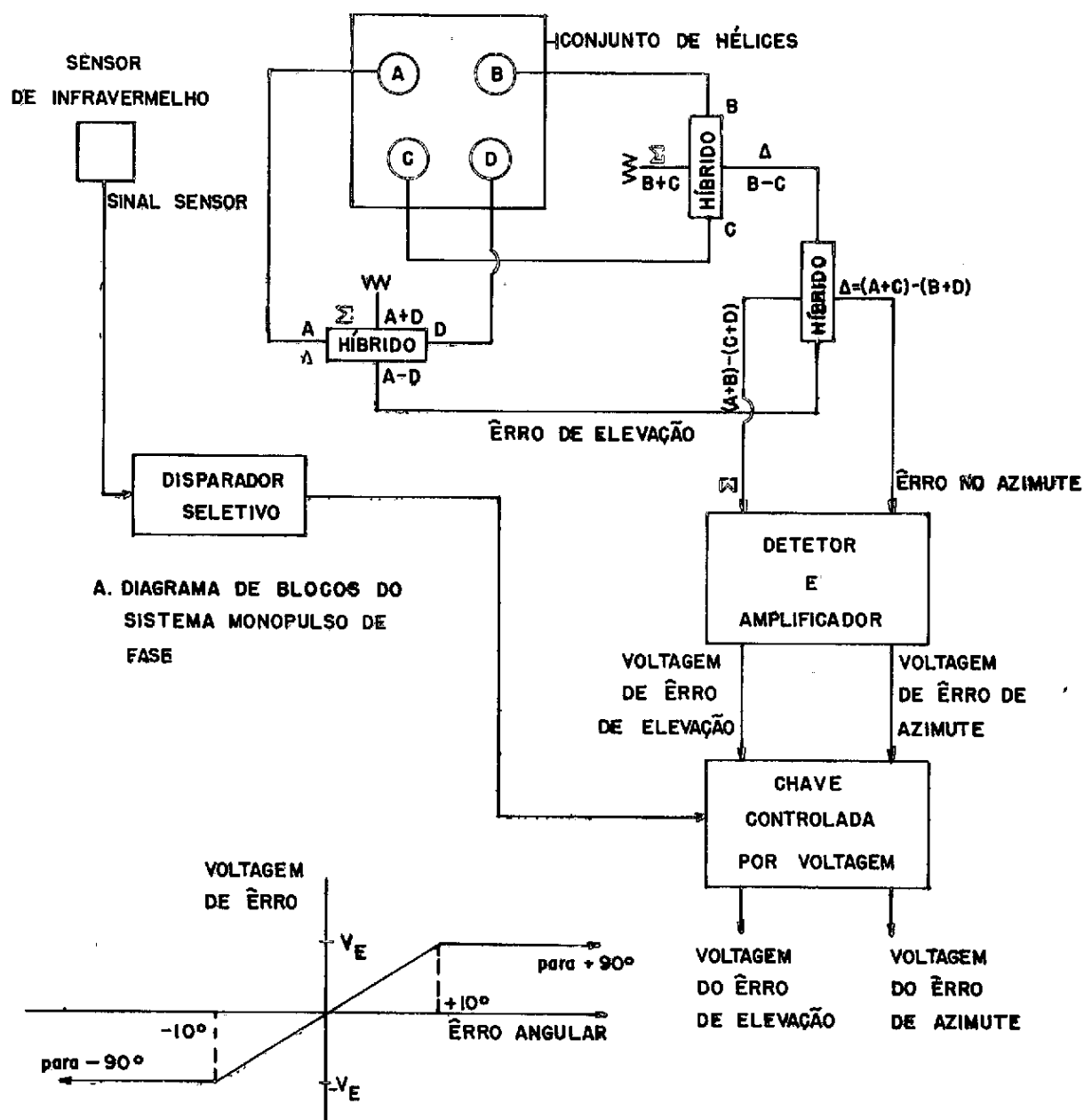
usa-se um sensor de infra-vermelho voltado para a Terra em conjunção com a rede de antenas helicoidais. O sensor da Terra é disparado de maneira que so é sensível à Terra e não ao Sol ou qualquer outro astro. As saídas combina-
das do sensor de infra-vermelho da Terra e da rede de antenas helicoidais são disparadas juntas, detetadas e amplificadas de forma a produzirem uma ten-
são em corrente contínua proporcional ao erro angular. A antena "monta" no
sinal de um radiofarol terra como é ilustrado na Fig. 4-16.

Para economizar peso e ter resistência mecânica, o circuito do
monopulso de micro-ondas é formado por guia de ondas impressos em placa mon
tada atrás do plano de terra da rede de hêlices. Portanto, são dois guias de
onda convencionais têm que ser postos no satélite. A rede de hêlices é embu-
tida em espuma Polyfoam para tornar rígidas as estruturas das hêlices. O pê
so da rede e seu circuito de micro-ondas não deve exceder de 2 kg. Essa es
trutura completa é montada rigidamente na metade superior do corpo do satê-
lite. O sistema completo do sensor de atitude está ilustrado na Fig. 4-17.

4.3.4 Antena de Telemetria e Comando

Usa-se um sistema de quatro antenas lineares de quarto de onda
para uma cobertura praticamente onidirecional para telemetria e comando. Co-
mo a telemetria é em 130 MHz cada antena tem 57,6 cm de comprimento.

As antenas de quarto de onda são ajustadas no alto do corpo do
satélite para formar uma antena torniquete inclinada de quatro elementos. Os
elementos estão dobrados durante o lançamento e são desdobrados automática-
mente quando a carcaça se solta. O desdobramento e a montagem são efetuados
com uma dobradiça mola de plástico dobrável. Este sistema e os componentes a



B. VOLTAGEM DE ERRO vs ERRO ANGULAR

Fig. 4-16. SISTEMA DE MONOPULSO DE FASE.

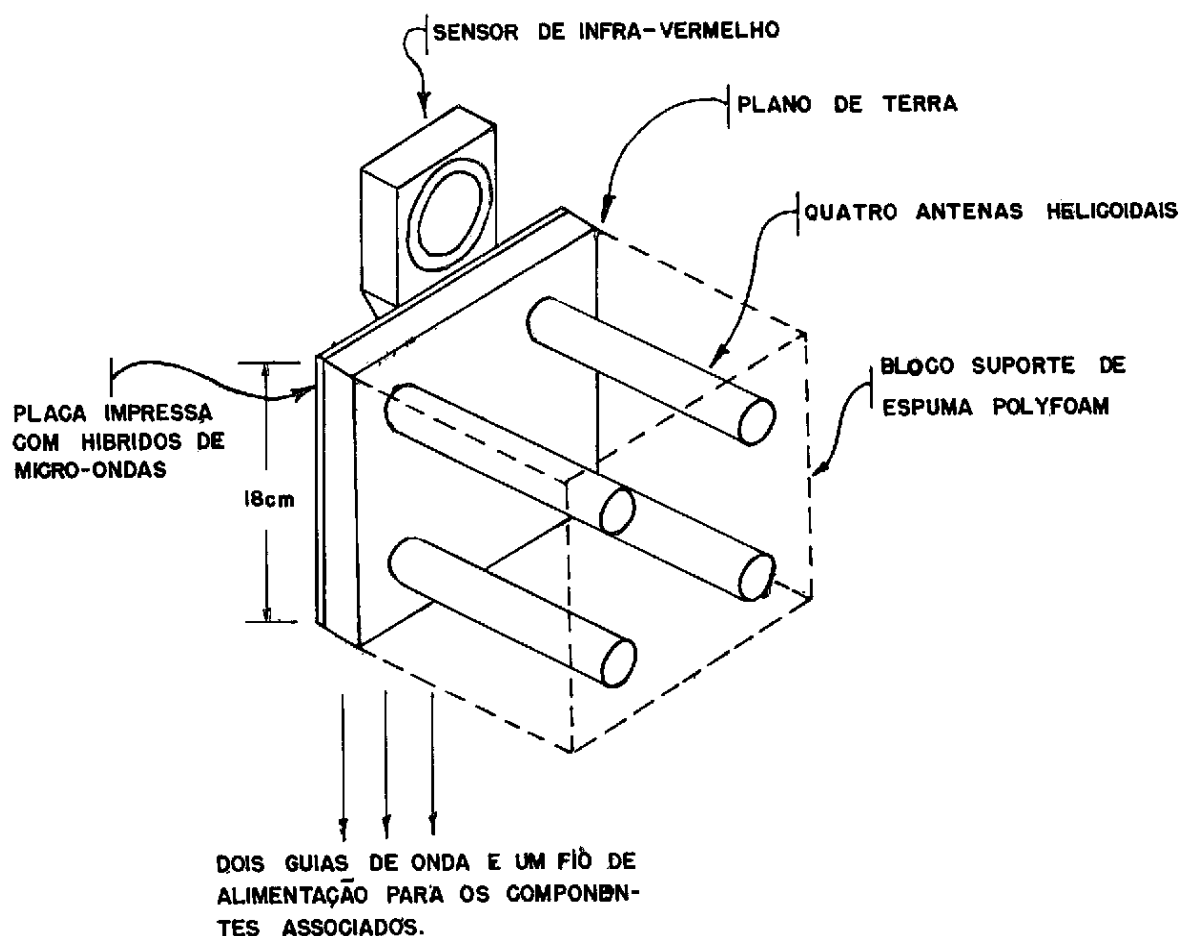


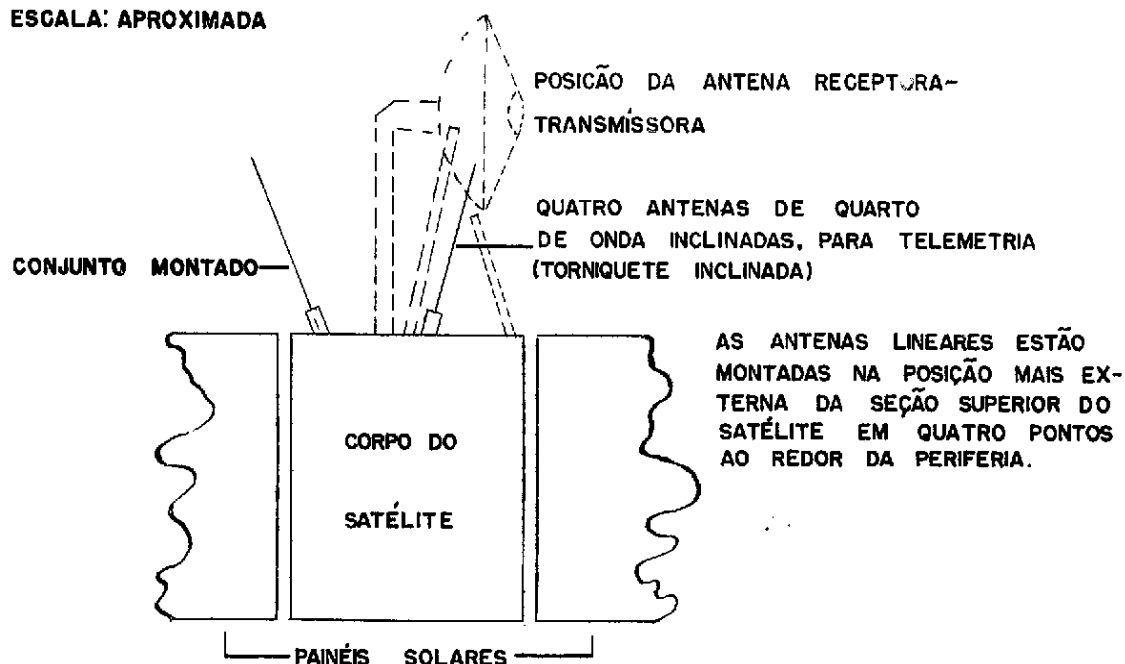
Fig. 4-17 SISTEMA SENSOR DE ATITUDE

Ele relacionados estão ilustrados na Fig. 4-18.

4.3.5 Vista Geral do Sistema

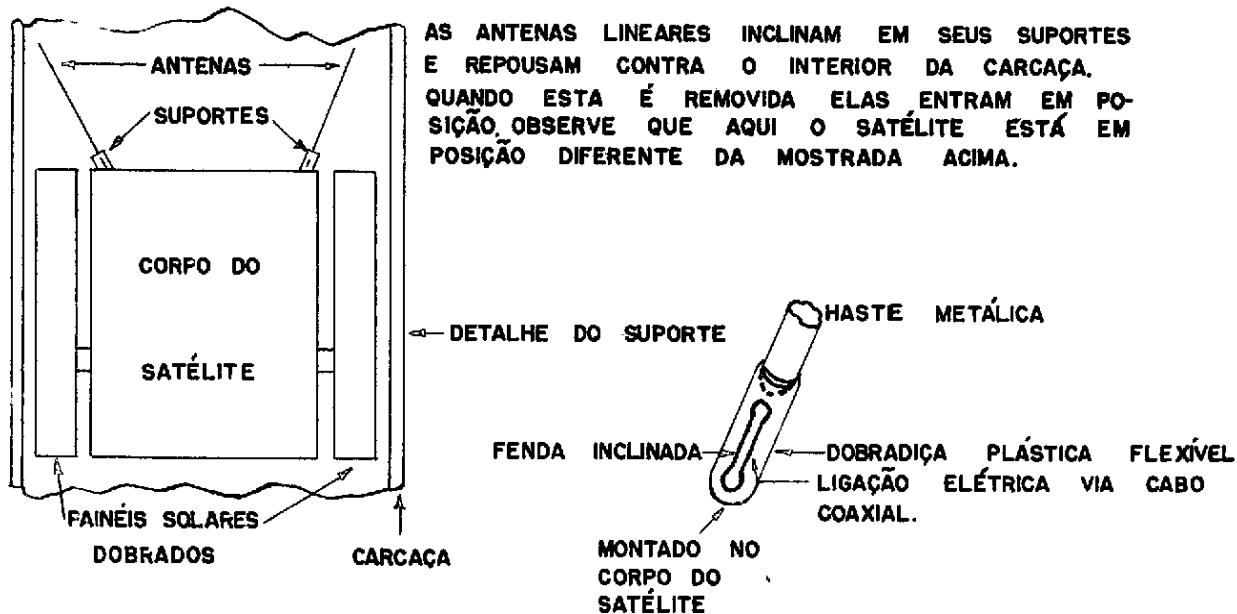
O sistema completo deverá ser integrado por todos os seus componentes sendo necessário o estudo da sua compatibilidade eletromagnética. A configuração total do sistema proposto é ilustrada na Fig. 4-19. O sistema de antenas e suas relações com o resto do sistema de comunicações e TVE acha-se representado pelo diagrama da Fig. 4-20.

ESCALA: APROXIMADA



A. SISTEMA DE ANTENAS LINEARES DE QUARTO DE ONDA PARA TELEMETRIA

ESCALA: APROXIMADA



B. MONTAGEM

Fig. 4-18. SISTEMA DA ANTENA DE TELEMETRIA

ESCALA: APROXIMADA

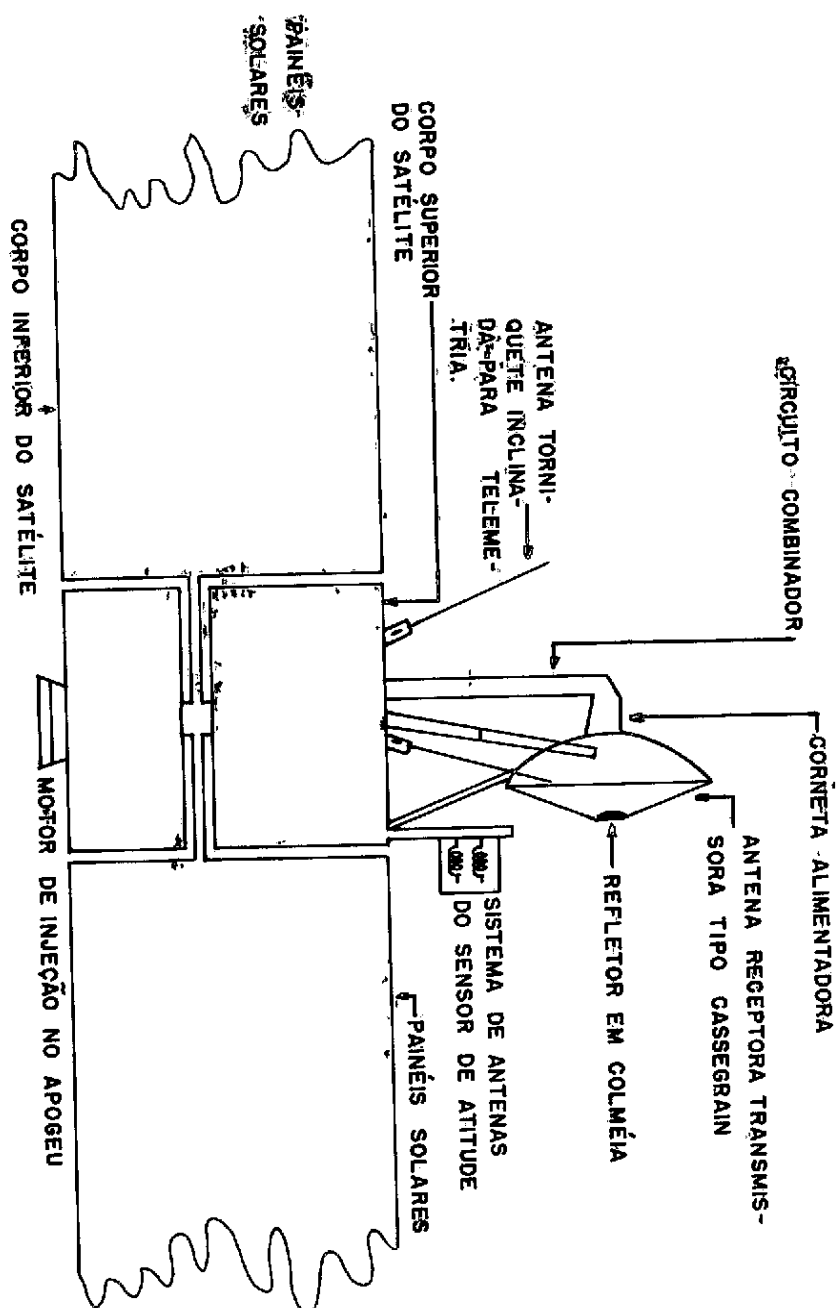


Fig. 4-19. SISTEMA COMPLETO DE ANTENAS.

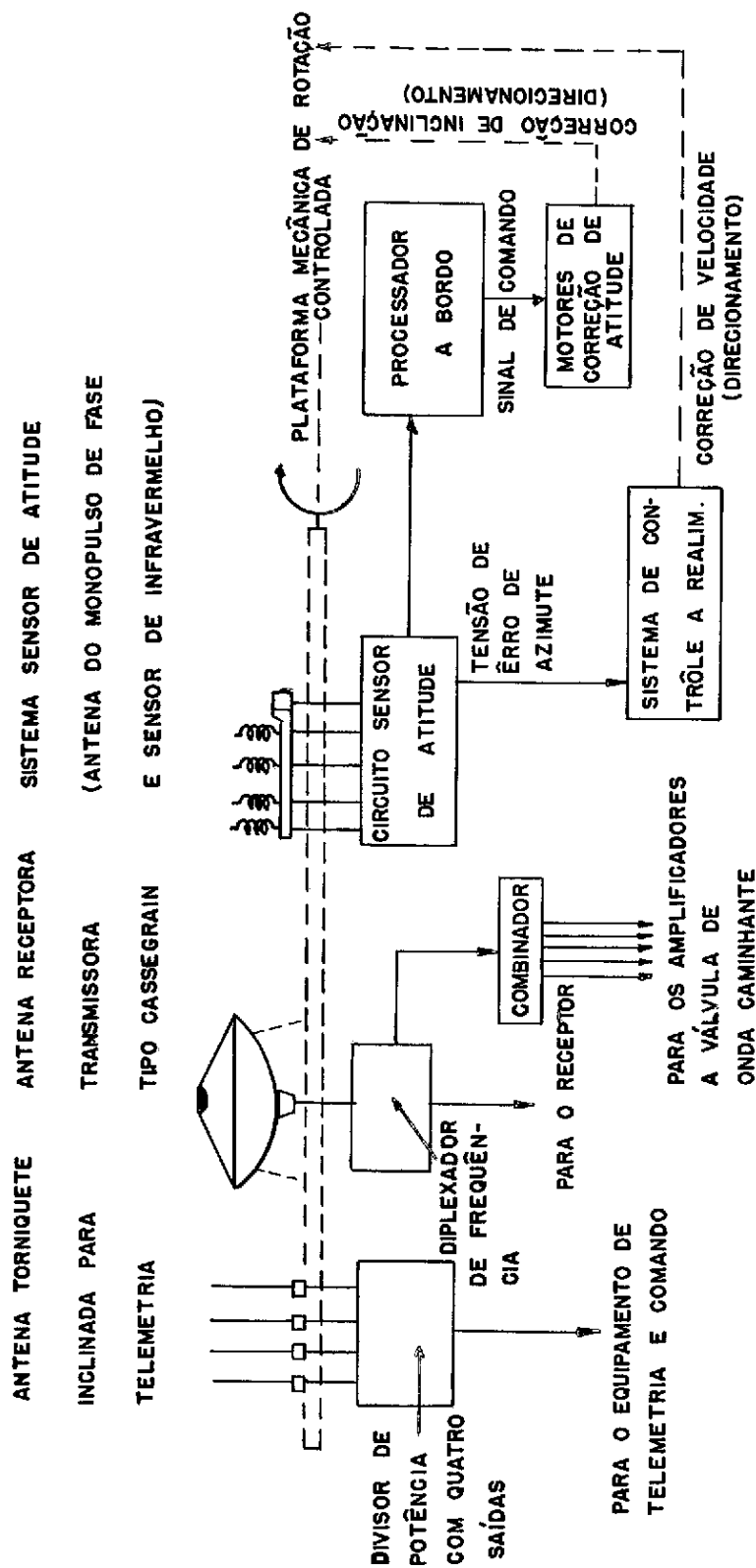


Fig. 4-20. SISTEMA DE ANTENAS E DE ALIMENTAÇÃO E SUA RELAÇÃO COM O TOTAL DO SISTEMA.

4.3.6 Período de Desenvolvimento e Planos Futuros

A maioria dos conceitos aplicados às antenas deste projeto é conhecida, por isso o desenvolvimento delas só requer um período normal. Entretanto, como os sistemas de antenas exigem bastante trabalho experimental, os projetos finais não foram tentados nesta proposta. As idéias são exequíveis num período de desenvolvimento de 5 anos e por isso poderiam estar realizadas até 1972, data prevista para o lançamento do satélite.

A rede de antenas faseadas é um desenvolvimento que tem um futuro promissor para uso num satélite de comunicações. Seu emprego no sistema presente foi estudado como uma rede totalmente faseada e como uma antena refletora com uma rede com alimentação faseada. Concluiu-se que não valeria a pena tentar usar essas novas idéias. Dentro dos próximos anos elas devem tornar-se praticáveis.

As técnicas de moldagem do feixe podem ser usadas com redes faseadas. Essas técnicas permitirão iluminação mais precisa de uma pais aumentando o ganho das antenas e economizando potência de rádio-frequência.

Foram investigadas outras técnicas de antenas tais como as hélices cônicas (helicones). Estas foram presentemente julgadas insatisfatórias, mas para o futuro depositam-se esperanças nelas.

REFERENCIAS

1. Alan Campbell, Philco-Ford Corporation, Palo Alto, California, personal conversation.
2. K.C. Carver, "The Helicone - A Circularly Polarized Antenna with Low Sidelobe Level, " Proc. IEEE, Abril 1967.

3. K.C. Carver, Ohio State University, personal correspondence on the helicone antenna.
4. Hughes Aircraft Company, "Phased Array Transmitting Antenna and Pace, Applications Technology Satellite," Space Systems Division, 6 de Outubro 1966.
5. Hughes Aircraft Company, "VHF Repeater Experiment," Space Systems Division, 1 Fevereiro 1967.
6. H. Jasik (Ed.), Antenna Engineering Handbook, 1st ed., McGraw-Hill Book Company, New York, 1961.
7. C.G. Montgomery, R. H. Dicke, e E. M. Purcell (Eds.), Principles of Microwave Circuits, Dover Publications, New York, 1948 (original date).
8. Radio Corporation of America, "A Feasibility and Design Study of a Multi-Purpose Synchronous Communications Satellite," Astro-Electronics Division, 15 Fevereiro 1967.
9. Rand-McNally & Co., Chicago, Rand-McNally New Cosmopolitan World Atlas, 1966.
10. Sedco Systems Incorporated, "A Development Study of Technique to Add Electronic Scanning and Multiple-Target Tracking to a Fixed Beam Radar," Julho 1966.
11. Sedco Systems Incorporated, "Reciprocal Phase Shifters for Inertialess Scanning," Maio 1966.
12. S. Silver (Ed.), Microwave Antenna Theory and Design, Dover Publications, New York, 1949 (original date).

4.4 FONTE DE ENERGIA DO SATÉLITE

No projeto de sistema de energia, a principal característica a considerar é a elevada potência requerida. A Tabela 4-8 mostra os primeiros requisitos. A necessidade de uma fonte de 2,5 kw ao fim dos 5 anos de missão em órbita síncrona, ultrapassa a capacidade de qualquer projeto convencional existente. As duas fontes de energia consideradas foram a nuclear e a solar. Devido ao pêso, ao custo, e à falta de disponibilidade de sistemas o

perantes de energia nuclear, em futuro próximo, foi feito um estudo aprofundado da energia solar. Os geradores termelétricos foram ignorados devido a problemas de temperatura e da baixa eficiência. Em virtude dos requisitos de operação em alta temperatura, os dispositivos termo-iônicos não convinham à missão. Finalmente foram escolhidas células foto-voltáicas ou solares. Verificou-se desde logo que seria necessária uma grande área delas. Segundo os cálculos o peso total das células, montadas em painéis rígidos, estaria acima de 272 kg. Embora as células-filme de CdS estejam bem dentro dos limites de peso (eficiência de conversão no fim da missão $\approx 5\%$), elas necessitam ter uma área excessiva de desdobramento, cerca de $55,8 \text{ m}^2$, devido à sua baixa eficiência. Daí propor-se um projeto que combina as altas eficiências das células solares de silício ao peso reduzido de um painel flexível.

Tabela 4-8

PRINCIPAIS REQUISITOS DE POTÊNCIA
(Valores em watts)

Válvulas de TVE (2)	1470
Válvulas de Comunicações (1)	630
Receptores-moduladores (3)	30
Amplificadores excitadores	30
Telemetria e sistema de comando	20
Sistema de Contrôlo	250
Wattagem total	2430

4.4.1 Projeto Proposto: Painel Solar

Usando o princípio da cortina de enrolar, um grande número de células pode ser instalado num rolo compacto que ocupa pequeno volume durante o

vôo. Quando o satélite alcança sua órbita e é estabilizado, as células montadas como módulos num substrato flexível, e ligadas em série-paralelo são desenroladas, e sensores solares mantêm os painéis voltados para o sol.

O substrato é um composto de fibra de vidro e Teflon com um revestimento de baixa absorção e alta emissividade de modo que a temperatura de operação das células solares seja mantida abaixo de 50°C. Um revestimento conveniente é o HP-412, que consiste numa tinta branca de base epoxy desenvolvida na Hughes Aircraft Co., El Segundo, California. O rolo de células solares rígidas contém uma camada de espuma que protege as células contra choques e contra as acelerações de lançamento e vôo. Essa camada de espuma é enrolada num carretel próprio durante o desdobramento dos painéis.

O mecanismo extensor consiste de uma longa tira metálica enrolada em bobina, que ao se desenrolar espicha axialmente formando um tubo ôco de comprimento pré-determinado.

A General Electric Co. de Valley Forge, Pennsylvania, e a Westinghouse Corp. de Baltimore, Maryland, vêm desenvolvendo mecanismos deste tipo que usam motores elétricos para desenrolar o metal. Todavia, o mecanismo proposto é o STEM (Storable Tubular Extendible Mechanism i. é, mecanismo Tubular Extensível Armazenável), desenvolvido pela DeHavilland Aircraft Co. de Malton, Canadá. Esta bobina de metal elástico de alta resistência é armazenada sob pressão e, quando liberada, toma a forma de haste tubular rígida. O diâmetro do tubo é de cerca de 6,35 cm sendo sua espessura de cerca de 0,033 cm. A borda externa do suporte flexível das células é presa como num mastro a uma barra esticadora de alumínio ligada às extremidades de duas dessas hastes. A barra de alumínio terá 2,13 m de comprimento e as hastes são extensíveis até

8,28 m. O tempo de desdobramento é de 4 a 7 minutos. Dois painéis com $17,6 \text{ m}^2$ cada um fornecerão os necessários $35,2 \text{ m}^2$ de células solares (Figs. 4-21 e 4-22). A relação comprimento/largura de 3,9:1 está dentro dos limites impostos pelo momento fletor das hastes. Os mecanismos extensores continuam a exercer uma força, da ordem de 0,045 kg, que mantêm o painel completamente distendido.

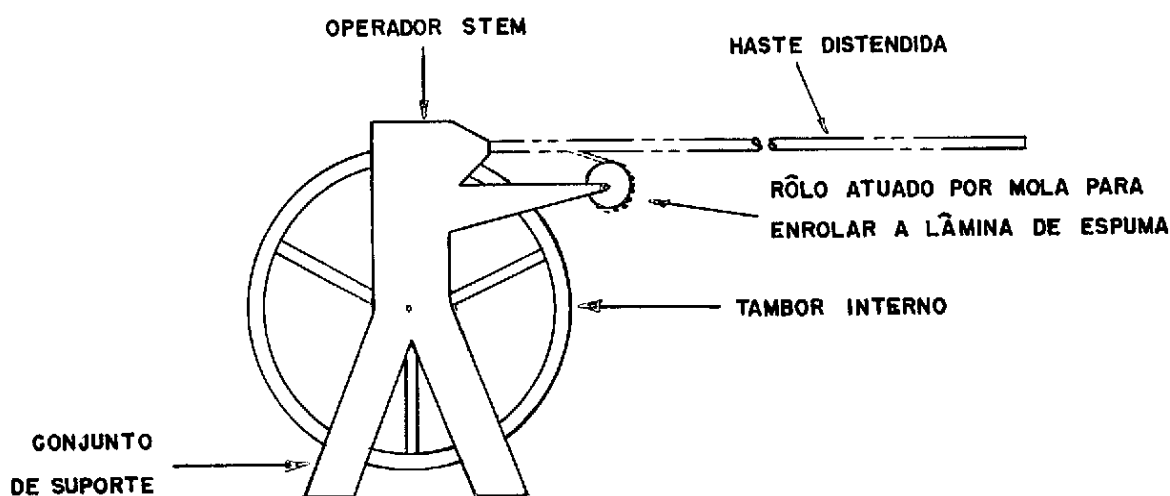


Fig. 4-21. VISTA LATERAL DO PAINEL FLEXÍVEL DISTENDIDO

Na escolha das células de silício levou-se em conta sua degradação ao cabo de 5 anos, devida à radiação. O novo tipo de célula proposto é a célula dendrítica N-sobre-P de Drift-Field com cobertura de vidro de 0,0076 cm, desenvolvida pela Semiconductor Division da Westinghouse Corp. em Youngwood, Pa. Devido ao aumento dos percursos de difusão dos portadores minoritários, tais células pouco sofrem com os fluxos de elétrons e prótons no espaço. Sua eficiência ao fim da missão é 9,1% enquanto que a das células solares de ti

po comercial, é de 7,8%, ambas com cobertura de vidro de 0,0076 cm. Células dendríticas em lâmina de silício podem ser produzidas por crescimento como longas tiras contínuas de monocristal com a espessura desejada. Estas formas de célula ajustam-se muito bem aos painéis enroláveis.

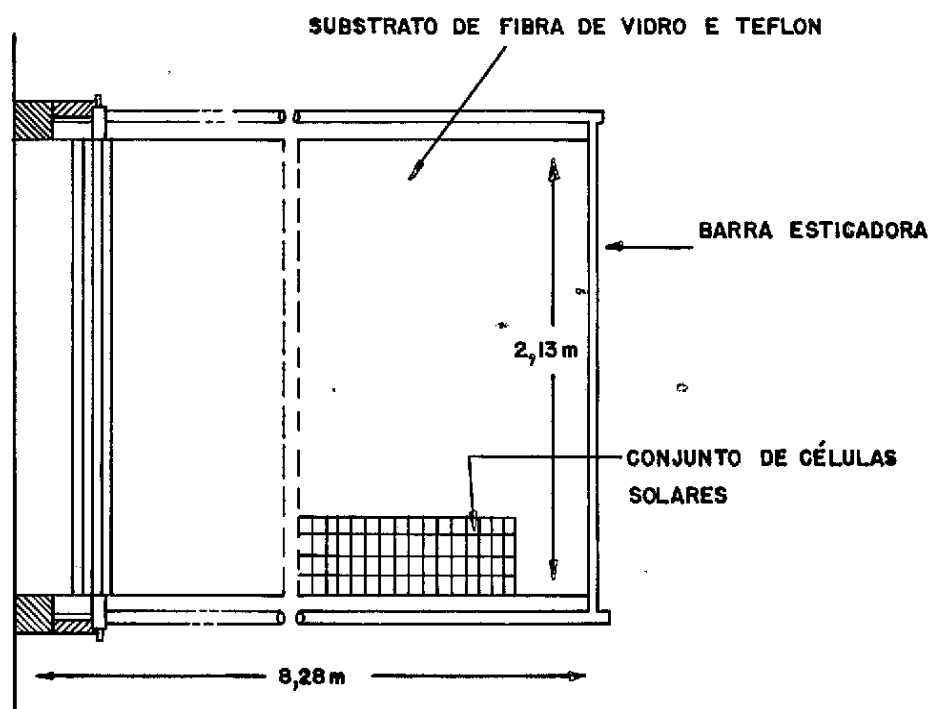


Fig. 4-22. VISTA DE TÔPO DO PAINEL FLEXÍVEL
DISTENDIDO

A análise numérica que se segue é baseada no trabalho efetuado por K.A. Ray (8).

$$\text{Potência} = S F_1 F_2 F_3 F_4 F_5 F_6 F_7 F_8 F_9 F_{10} \quad \text{W/m}^2$$

S , intensidade da potência solar = 1400 W/m^2

F_1 , fator de arrumação = $0,85$

F_2 , eficiência da célula = $0,091$

F_3 , fator de temperatura = $0,89$

F_4 , filtro de cobertura de vidro = $0,92$

F_5 , degradação devida à radiação ultra violeta = $0,95$

F_6 , tolerância de fabricação = $0,96$

F_7 , perdas por micrometeorito = $0,95$

F_8 , variação da constante solar = $0,97$

F_9 , perdas de orientação = $0,98$

F_{10} , fator de perda (diodos e fiação) = $0,96$

Multiplicando estes fatores, potência da saída da célula = 71 W/m^2

Área requerida = $2500/71 = 35,2 \text{ m}^2$

Célula de $0,0178 \text{ cm}$ de espessura por $1 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$ = $1,48 \text{ gm}$

Capa de vidro de $0,0076 \text{ cm}$ de espessura = $0,62 \text{ gm}$

$2,10 \text{ gm/cel.}$

Substrato ($0,0038 \text{ cm}$ de espessura) = 59 gm/m^2

Fiação e Adesivo = $\frac{98 \text{ gm/m}^2}{157 \text{ gm/m}^2}$

316 células/m^2 $\frac{664 \text{ gm/m}^2}{}$

Total = 821 gm/m^2

Pêso dos painéis solares = $35,2 \text{ m}^2$

$\times 0,821 \text{ gramas}$ = $28,90 \text{ kg}$

Pêso do STEM e mecanismos de suporte = $45,36 \text{ kg}$

Pêso total do sistema = $74,26 \text{ kg}$

Tais painéis flexíveis resistirão sucessivamente a ciclos de temperatura de 70 e -250°F a razão de 90°F/min.

4.4.2 Condicionamento de Potência

Propõe-se um conversor de potência DC-DC com eficiência de cerca de 95%. Embora não tenha sido feito um projeto detalhado do circuito as partes principais do sistema estão ilustradas na Fig. 4-23. A parte inversora do conversor consiste de SCRs de alta corrente e rápido chaveamento, disparados por um circuito de tempo controlado por realimentação positiva do transformador. O inversor pode operar em frequências de 10 a 50 KHz e excita um transformador não saturado com eficiências próximas de 99%. A eficiência do inversor é maior que 98%. A eficiência total não é inferior a 95%.

A Fig. 4-24, mostra que existe um conversor DC-DC para cada uma das 5 válvulas transmissoras. Duas delas são unidades em duplicata. Tais unidades não pesarão mais do que 4,54 kg por peça. A energia a 28 volts c.c. é trazida dos painéis solares para os conversores na seção rotativa superior do satélite via contatos em anéis deslizantes de alta velocidade. A Ball Brothers Research Co. de Boulder, Colorado, desenvolveu anéis deslizantes capazes de conduzir correntes superiores a 50 amperes durante mais 1000 horas de operação, usando um processo de lubrificação (Vac-Kote) em que são combinadas coberturas de lubrificante sólido e líquido. Não se dispõe, no momento, de dados sobre o desenvolvimento dessa técnica mas é de se esperar que dentro de alguns anos surjam projetos satisfazendo os requisitos da missão.

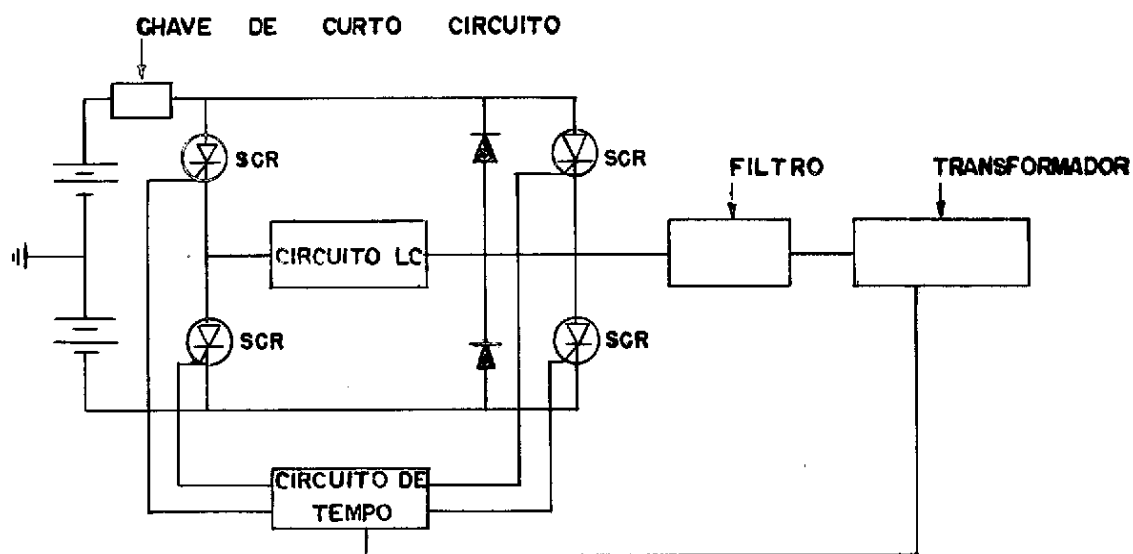


Fig. 4-23 UNIDADE CONVERSORA DC-DC

Quando o satélite está na sombra da Terra, a unidade de controle reduz, sob comando, o nível de potência para as válvulas não transmissoras.

As baterias usadas quando o satélite está na sombra da Terra são duas células regenerativas de combustível, $H_2 - O_2$, cada uma com capacidade de 500W-hr. Elas não se deterioram depois de 5 anos de vida úmida. Cada bateria pesa cerca de 11,3 kg, ocupa $0,028 m^3$, é capaz de descarregar-se 100% e tem uma eficiência de armazenamento de energia de 56% a uma taxa média de carga. As ineficiências das células requerem temperaturas de operação ótimas de cêra de $150^{\circ} F$.

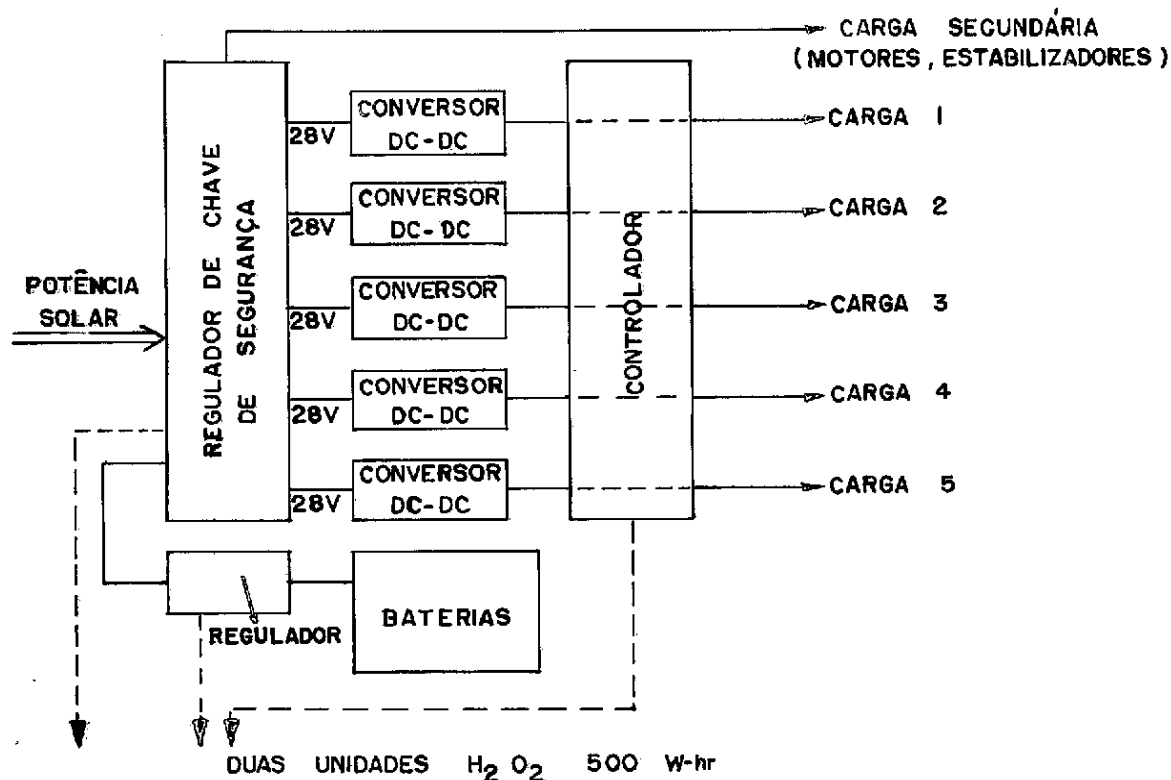


Fig. 4-24 CONDICIONAMENTO DA ENERGIA

4.4.3 Subsistema Secundário de Energia Solar

Sobre a parede da seção rotativa inferior do satélite são montadas células de silício convencionais N-sobre-P com 0,0076 cm de cobertura de vidro. Essas células e mais a capacidade de 1.000 W-hr das baterias carregadas, fornecem a energia para o satélite, enquanto ele se estabiliza, antes que os painéis flexíveis sejam desenrolados. Como as células têm alta eficiência inicial (12,3%) são gerados cerca de 82 watts de potência

considerando-se um corpo quase cilíndrico de 1,525 m de diâmetro e 0,56 m de altura.

4.4.4 Conclusão

O projeto proposto considera estado da arte de instalar energia em satélite num futuro próximo. Por volta de 1970 a energia nuclear poderá estar suficientemente desenvolvida para permitir a instalação a bordo de fontes de energia com mais de 10 kW. Isso pode envolver o emprêgo de geradores móveis e mais provavelmente, de geradores termo-iônicos. Tais sistemas serão praticáveis para grandes satélites. Num futuro mais próximo, um avanço na tecnologia dos materiais poderá permitir que as células solares de filme alcancem a eficiência das células de silício. Assim sendo, elas permitirão economizar peso e custo.

REFERENCIAS

1. Ball Brothers Research Corp., Boulder Colo.: "Vac-Kote Capabilities, "Tech. Memorandums 22.0 and 22.1, Julho 1965.
2. E.B. Baumeister, "Status of Large Nuclear Power Supplies for Electrical Propulsion," AIAA Paper Nº 66-1021.
3. Clevite Corp., Cleveland, Ohio.: Price schedule.
4. Electro-Optical Systems Inc., Pasadena, California. "Selected Notes on Space Power Systems," Fevereiro 1965.
5. Harshaw Chemical Co., Cleveland, Ohio: Price schedule.
6. J. F. Horner, "A 400 Hz Inverter Employing Selective Harmonic Reduction," Lab. Report EE225, Março 1966, Department of Electrical Engineering, Stanford University, Stanford, California.

7. W. McMurray, "SCR Inverter Commutated by an Auxiliary Impulse". IEEE Trans. on Communications and Electronics, 86, 78, Novembro 1964.
8. K.A. Ray, "Flexible Solar Cell Arrays for Increased Space Power", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, AES-3, 1, Janeiro 1967.
9. K.A. Ray e D.H. Winicur, "Large Area Solar Cell Array," Third Bien-nial Aerospace Power Systems Conference, Philadelphia, Pa., Set. 1964.
10. F.A. Shirland, "History, Design, Fabrication, and Performance of CdS Thin-Film Solar Cells," Advanced Energy Conversion, 6, 1966 pp.201-222.
11. K.S. Tarneja et al, "Drift Field Solar Cells on Silicon Web", Westinghouse Electric Corp., Pa.
12. D.E. Wuerflein, "Miniaturized Power Conversion Techniques", Gulton Industries, Inc., Engineered Magnetics Division.

4.5 PROJETO E CONTRÔLE TÉRMICO

A fim de alcançar os receptores terrestres de baixo custo o satêlite deve operar num alto nível de potência. O problema têrmico crucial é o de rejeitar o calor gerado em consequência das ineficiências do sistema. Considerações de peso e confiabilidade aconselham a obtenção do contrôle têrmico tão simples e robusto quanto possível. É aconselhável incorporar o projeto têrmico aos projetos estrutural e elétrico. A fim de ajudar a manter a temperatura máxima dentro dos limites desejados foram usados, sempre que possí-vel, componentes de alta eficiência onde eram necessários altos níveis de potência.

4.5.1 Projeto Térmico Geral

As três seções principais do satélite são têrmicamente isoladas e

podem ser consideradas separadamente. Foram empregados métodos ativos e passivos para controlar a temperatura do satélite. A seção superior é controlada passivamente por radiação direta de suas superfícies. A seção interior usa controle passivo e ativo (persianas) para manter os componentes críticos dentro de estreitos e bem definidos limites de temperatura. Cada uma dessas seções será posteriormente discutida com mais detalhes.

A vida de 5 anos do satélite requer que a seleção dos materiais seja feita levando na devida conta os efeitos de micrometeoritos, da radiação solar, e dos campos de partículas. A radiação solar tem um efeito desprezível na emissão e um pequeno efeito na absorção [12]. Dados de laboratório sugerem que os micrometeoritos podem afetar negativamente a emissividade dos satélites em órbita terrestre baixa [9]. No momento atual, isso não é considerado um problema sério, embora sejam necessários mais dados de vôo em altitudes síncronas para avaliar completamente esses efeitos no presente sistema.

O ambiente espacial representa o maior desafio ao projeto térmico. Antes do lançamento, a convecção deve fornecer refrigeração suficiente para manter o satélite na temperatura desejada. A carcaça de proteção, conservada até que seja alcançada a órbita, abrigará o satélite do aquecimento aerodinâmico, durante a ascensão. Uma vez a proteção removida o satélite fica sujeito à radiação solar. A equação de equilíbrio de calor para o satélite é:

$$\alpha GA_p + Q = \epsilon \sigma FA_s T^4 + WC_p \frac{dT}{dt} \quad (1)$$

onde

α = coeficiente de absorção

G = radiação solar

A_p = área projetada para a radiação solar

Q = calor gerado internamente

ϵ = emissividade

σ = constante de Stefan-Boltzmann

F = fator de forma

A_s = área da superfície radiante

T = temperatura absoluta da superfície

W = massa do satélite

C_p = calor específico do material

Atingidas as condições de regime a equação geral de equilíbrio de calor se reduz a:

$$\alpha G A_p + Q = \epsilon \sigma F A_s T^4 \quad (2)$$

Esta equação é usada para calcular as temperaturas, nas condições de regime das diferentes seções do satélite. O comportamento transitório é calculado com a Eq. (1).

4.5.2 Seção Superior

A seção superior ou plataforma da antena abrigará a maioria dos componentes eletrônicos do satélite. A fim de evitar a degradação do equipa

mento eletrônico, essa seção deve ser mantida entre -50° e $+70^{\circ}$ C. Além do mais, devido a uma combinação do ciclo de transmissão com as condições ambiente encontradas durante a vida do satélite, a quantidade de calor da seção superior a ser rejeitada variará entre 250 e 1500 watts.

A fim de projetar um sistema de controle térmico de alta confiabilidade e vida de 5 anos, sendo ainda capaz de atender às várias situações encontradas, decidiu-se fazer o sistema tão passivo quanto possível.

Portanto, todos os componentes eletrônicos são montados no interior de um corpo cilíndrico composto de vários tubos de calor. Estes absorvem a energia que não é radiada diretamente para o espaço e a distribuem de maneira uniforme pela superfície exterior do corpo cilíndrico. Esta superfície exterior atuará então como um corpo isotérmico que fornecerá uma eficiente superfície radiante. Para manter a necessária faixa de temperatura, serão variadas as eficiências térmicas das válvulas de potência, que normalmente estão radiando a maior parte do seu calor diretamente para o espaço.

Tendo em mente a forma geral do projeto, pode ser feita agora uma descrição mais detalhada de cada um dos componentes térmicos.

4.5.2.1 Tubos de Calor

Os tubos de calor são estruturas que conseguem condutâncias térmicas muito elevadas através de um fluxo de fluido de duas fases com circulação capilar. São interessantes por várias razões:

- (1) Não têm partes móveis e operação confiavelmente por longos períodos.
- (2) São especialmente convenientes para operação na ausência de gravidade.
- (3) Operam isotermicamente e são capazes de transferir 500 vezes mais calor por unidade de peso do que um condutor térmico maciço de mesma seção transversal.

O tubo de calor consta, como mostra a Fig. 4-25, de uma cápsula exterior, de um pavio poroso e de um fluido operante. Em operação estacionária, o calor é adicionado ao fluido na área do evaporador e removido na área do condensador. O vapor é dirigido do evaporador para o condensador por uma diferença na pressão do vapor e o condensado retorna ao evaporador por ação capilar do pavio. Teoricamente, o tubo de calor opera numa temperatura constante, mas existe, na prática um pequeno gradiente de temperatura devido às perdas de condução onde o calor é adicionado e removido. Por exemplo, um tubo de calor, de 30 cm de comprimento e com 2,5 cm de diâmetro com fluido operante de sódio e um pavio de malha trançada pode transmitir 1000 watts a 900°K com uma queda de temperatura de apenas 2°K [5]. A diferença de temperatura é tão pequena que não tem importância nas aplicações práticas.

Embora a condutância térmica de um tubo de calor seja muito grande, existem limitações nas grandezas dos fluxos de energia total e local [3,7].

As taxas teóricas máximas de transferência de calor para um tubo cilíndrico de 2,5 cm de diâmetro, 30 cm de comprimento, com um pavio de malha trançada e com água como fluido operante são dados na Fig. 4-26.

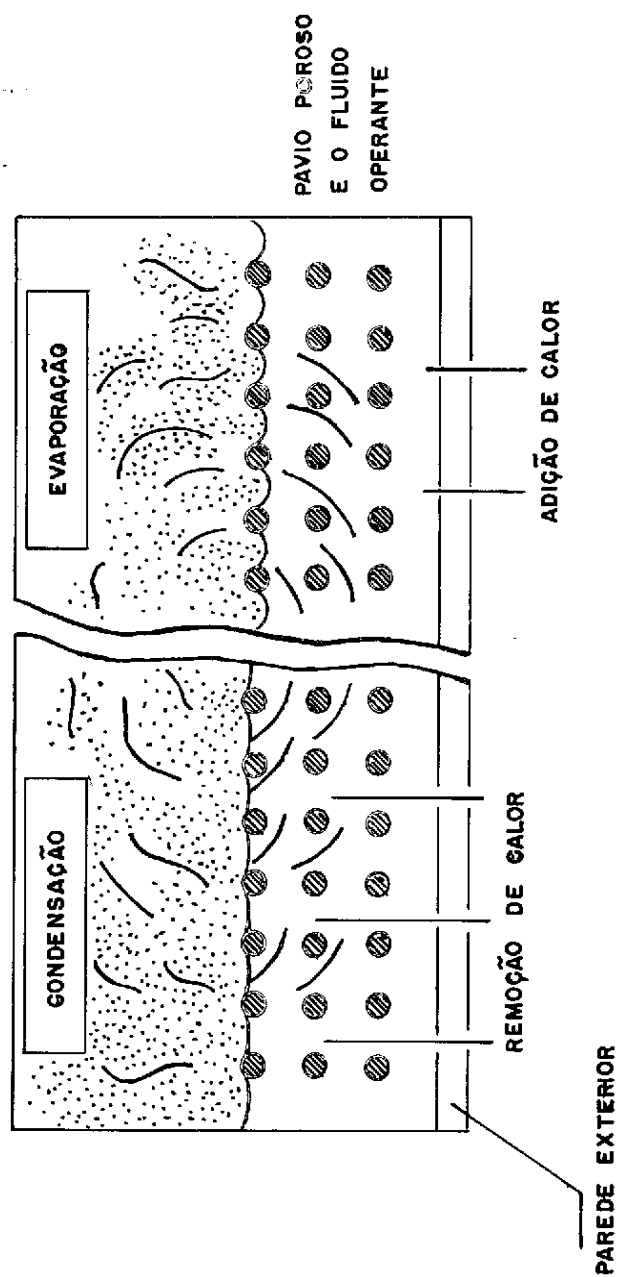


Fig. 4-25. OPERAÇÃO DO TUBO DE CALOR.

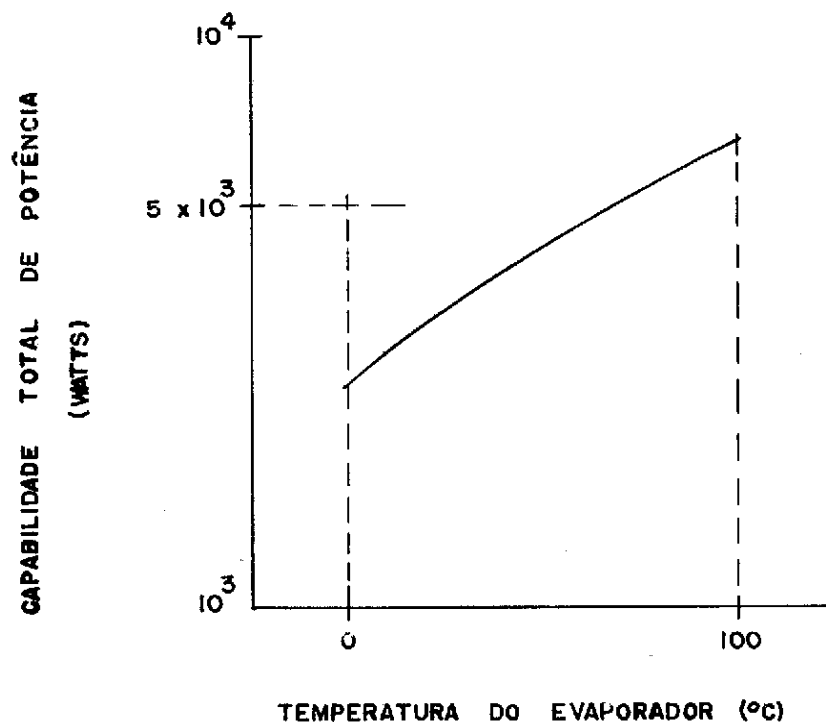


Fig. 4-26 TAXAS TEÓRICAS MÁXIMAS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR PARA TUBO DE CALOR CILÍNDRICO COM 2,5 cm DE DIÂMETRO, 30 cm DE COMPRIMENTO USANDO ÁGUA COMO FLUÍDO OPERANTE.

Os detalhes dos transientes do início do funcionamento são de pouco interesse exceto quando o fluido operante está inicialmente abaixo do seu ponto de fusão. À medida que o calor é adicionado à seção evaporadora, o material que lá se encontra ultrapassa o respectivo ponto de fusão, formando-se o vapor que vai pelos condutos para a seção condensadora. O material adjacente à seção evaporadora é aquecido ao ponto de fusão, parcialmente pela condensação do vapor na sua superfície e parcialmente pela condução axial do calor ao longo da parede que o contém e do pavio. A zona de fusão penetra assim na seção condensadora. Para que o início do funcionamento venha a falhar, o

líquido deve desaparecer pela evaporação mais depressa do que se torna disponível pela fusão, até que todo líquido formado seja depositado como sólido na seção condensadora. Num grande número de testes com tubos de calor de vários tipos, os inícios de funcionamento deram certo enquanto não houve anomalias inesperadas do pavio { 3 } .

No projeto de um tubo de calor, os princípios gerais há pouco discutidos são aplicáveis numa gama considerável de tamanhos, formas, temperaturas e materiais. As melhores vantagens são conseguidas quando os tubos de calor são longos e estreitos, tomando a forma de cilindros longos, ou de extensas estruturas planares delgadas { 3 } . Foram construídos tubos de calor com seção transversal retangular, e modelos que dobram estão sendo considerados. Todavia, mesmo se o tamanho, a forma, a temperatura, e os materiais de um tubo de calor são especificados, a fração do volume de massa de vapor, condutância térmica, e máximo fluxo de calor estão sob o controle do projetista. A parede do tubo deve ser delgada para minimizar a queda de temperatura, mas ela também deve ser suficientemente forte para suportar a diferença entre as pressões internas e ambiente. Um tubo de calor já é eficaz com pressões de vapor internas da ordem de um centésimo de atmosfera e melhorará com o aumento da pressão. A aplicação específica determinará qual das possíveis combinações destas propriedades é a mais desejável.

4.5.2.2 A Válvula de Potência de Microondas

Devido à grande potência de saída do satélite, o projeto térmico é principalmente centralizado na dissipação do calor gerado no coletor das válv

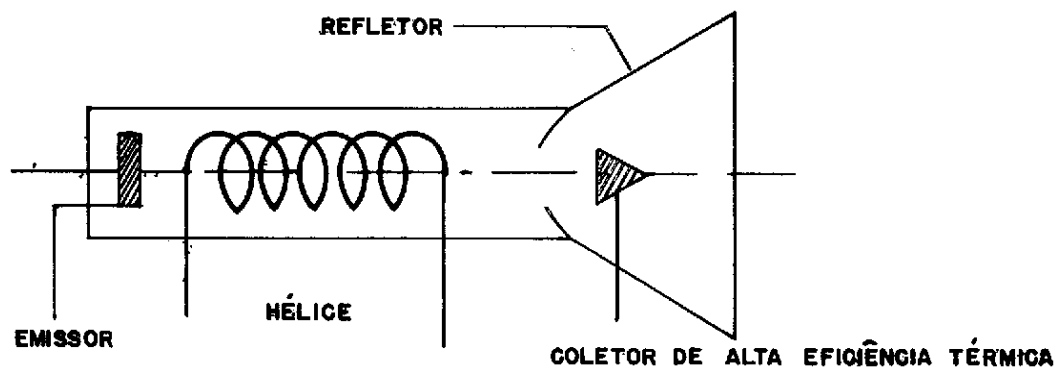


Fig. 4-27. VÁLVULA DE POTÊNCIA DE VÍDEO.

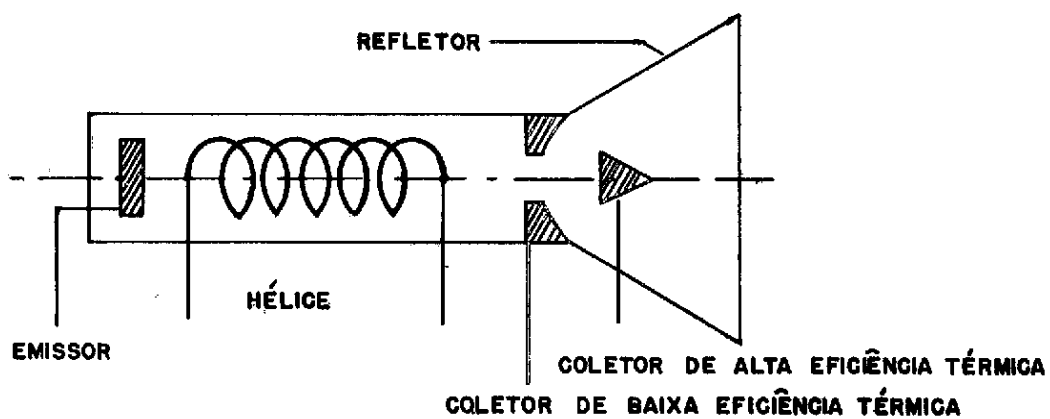


Fig. 4-28. VÁLVULA DE POTÊNCIA DE COMUNICAÇÃO.

vulas de potência. A eficiência total das válvulas variará dependendo do seu uso. Quando são usadas no sistema de vídeo terão uma eficiência máxima de transmissão de 50%, quando usadas no sistema de comunicações sua máxima eficiência será de 30%.

O método utilizado para dissipar o calor gerado pelas válvulas envolve um análogo simples da lanterna elétrica e foi desenvolvido pela EIMAC, divisão da Varian Associates. Usando um elemento de tungstênio como coletor e deixando o coletor incandescente atingir 1500°C a radiação direta do calor passa através de uma janela de safira (Ver Fig. 4-27). Já foram constadas eficiências térmicas da ordem dos 75%.

Da variação da posição do coletor decorre a variação da eficiência térmica da válvula. Pelo posicionamento apropriado dos coletores, as perdas de calor nas válvulas podem ajudar a estabilizar a temperatura do satélite, (Ver Fig. 4-28).

4.5.2.3 Projeto Geral

A Fig. 4-29 mostra o projeto térmico final da seção superior. Os 10 tubos contínuos de calor de seção retangular, que constituem o corpo do satélite são feitos de uma liga de berílio-alumínio, usam água como fluido operante, e têm uma pressão interna de cerca de 1 atmosfera. As dimensões são função de diversos fatores. A espessura da parede foi escolhida tomando por base requisitos estruturais e um pequeno gradiente de temperatura. Todavia, foram tomadas precauções destinadas a proteger os tubos contra furos por meteoróides. A Fig. 4-30 mostra que a probabilidade de não haver furos por meteo

rôides é de cerca de 0,97 para uma espessura de 0,127 cm e um tempo de vida de 5 anos [6]. A perfuração de um tubo de calor não significa uma perda total daquela área como um radiador pois os tubos adjacentes a aquecerão por condução ao longo da parede. Existirá, contudo, um leve gradiente de temperatura nessa superfície. Se o meteoróide não perfurá-la, persiste ainda uma probabilidade de 0,7 de tirar lascas. [6]. O efeito real das lascas nos tubos de calor é desconhecido, mas deve ser de uma natureza bem local e altamente dependente das características do pavio. A seleção do pavio para cada tubo de calor deve ser posteriormente determinada mediante uma análise mais detalhada de dados experimentais.

Os tubos curtos de calor que são paralelos ao eixo de rotação são análogos aos contínuos há pouco mencionados. Sua finalidade precípua é distribuir o fluxo de calor uniformemente por todos os tubos contínuos que constituem a superfície exterior, e agir como elementos de suporte e fixação para os componentes eletrônicos que têm grandes perdas de potência.

As válvulas de potência de microondas são montadas (Fig. 4-29) de modo que o calor radiante do refletor não incida na antena e sim que vá para o espaço cósmico. Existem dois projetos destas válvulas que serão usados no satélite: a válvula de vídeo mostrada na Fig. 4-27 e a válvula de comunicação mostrada na Fig. 4-28.

Durante a transmissão diurna e noturna as três válvulas operam com eficiência térmica de 75% utilizando o coletor de alta eficiência. Durante a noite solar, a energia precisa ser economizada e por isso, só uma válvula de comunicação permanece operando. Através da desfocalização do feixe e usando o coletor de baixa eficiência (eficiência térmica de 25%), calor suficiente pode ser conduzido para os tubos contínuos de calor para manter a tempera

tura total do satélite dentro de limites aceitáveis.

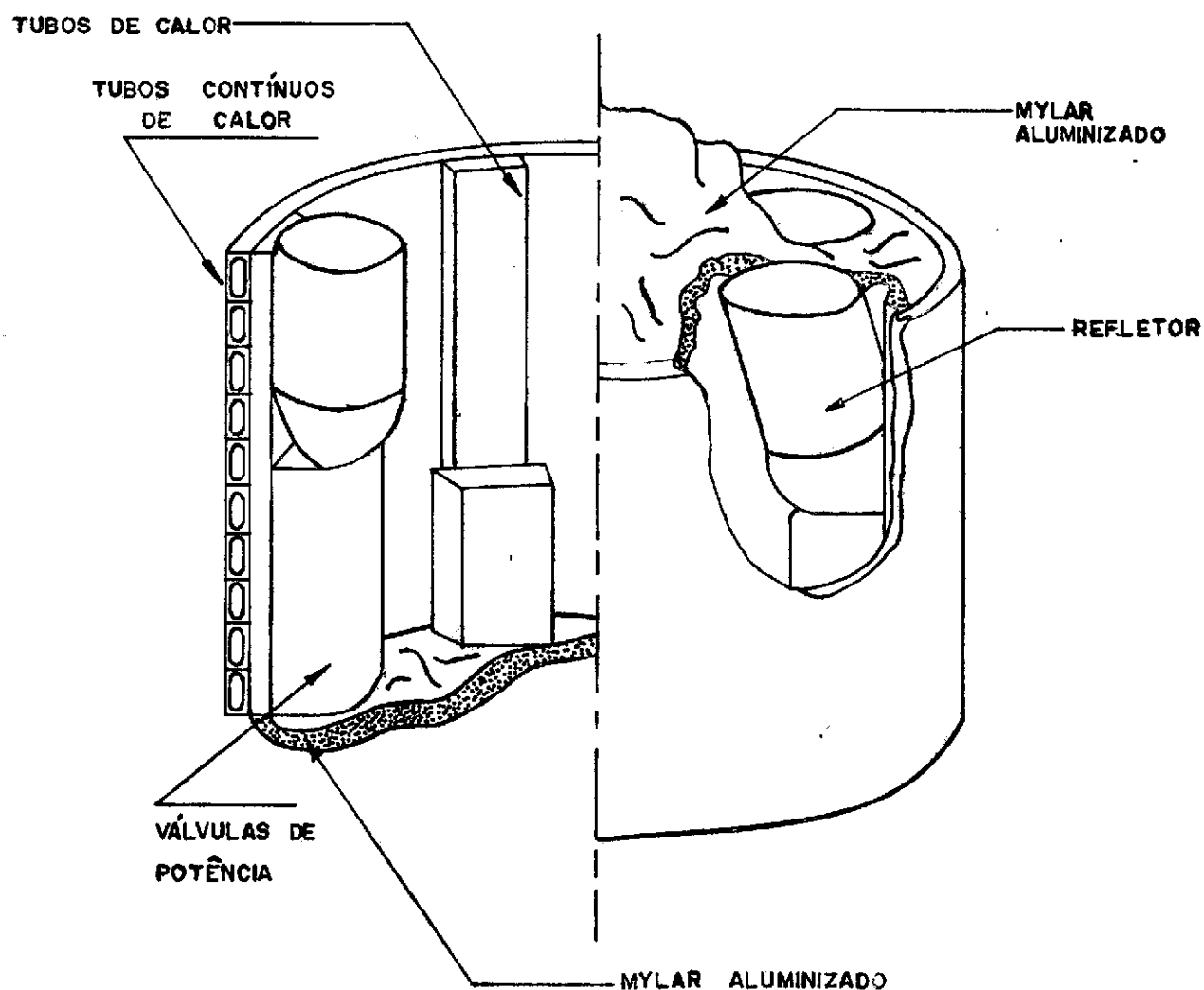


Fig. 4-29 PROJETO TÉRMICO DA SEÇÃO SUPERIOR

O motor e os anéis deslizantes estão conectados a seis braços de sustentação que conduzem o calor para os tubos contínuos de calor. Isso ajuda a manter os anéis deslizantes e o motor dentro de temperaturas de operação aceitáveis.

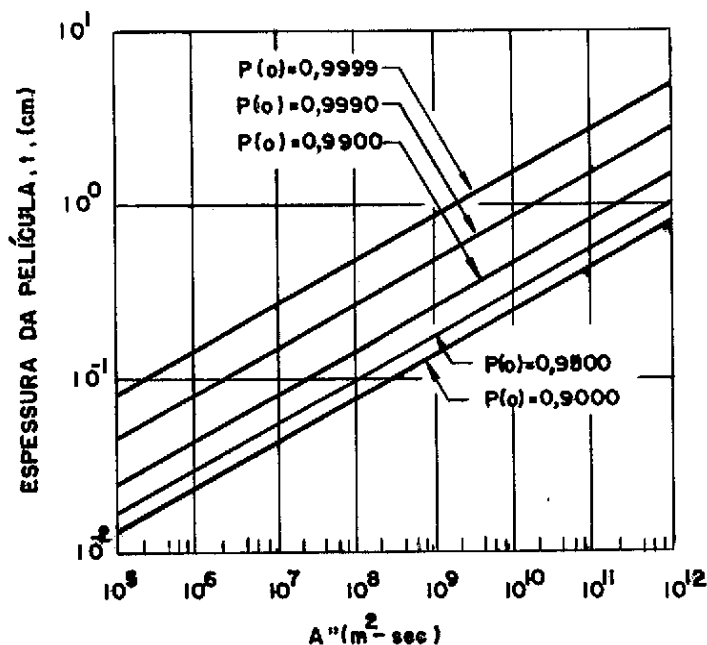


Fig. 4-30 ESPESSURA DA FOLHA DE ALUMÍNIO COMO FUNÇÃO DO PRODUTO ÁREA DA SUPERFÍCIE x TEMPO DE VIDA REQUERIDO. PARA VÁRIAS PROBABILIDADES DE NENHUMA PICADA DE METEORÓIDE [6].

Na seção superior do satélite, a parte externa dos tubos contínuos de calor é pintada de branco. A pintura, silicato LMSC, tem uma absorção inicial de 0,15 e emitância de 0,90. Todavia, como resultado da degradação causada pela radiação solar a absorção aumentará em média para 0,19 [6]. Os limites recomendados para o projeto indicam que a variação da absorção pode ser minimizada. Portanto, assim que a pintura secar, a superfície exterior da seção superior será submetida ao equivalente a 2000 horas de luz ultravioleta para estabilizar a absorção em 0,25 (pode ser necessário pintar

axialmente estreitas faixas pretas para obter-se exatamente este número). O alto índice inicial de absorção manterá a seção superior acima de -50°C durante a órbita baixa em torno da Terra. A razão para estabilizar a absorção é minimizar, durante a operação normal, qualquer variação da entrada de energia solar, e para dar o desconto pela degradação devida ao impacto dos meteoróides, aos ciclos de temperatura e à radiação.

O topo e o fundo da seção superior, exceto os refletores das válvulas de potência, são envolvidos em múltiplas camadas refletoras de Mylar aluminizado amarrado. Isso isola, da antena e da seção inferior, a dita seção superior.

A antena é sustentada por pernas tubulares de liga de baixa expansão térmica, semelhante à Ti6Al-4V. O controle térmico da antena exigirá testes externos para minimizar as deformações.

4.5.3 Cálculos Térmicos

A seção superior estará sujeita a uma grande variedade de condições de operação e de ambiente. Elas podem ser divididas em quatro situações principais: órbita baixa em torno da Terra, dia terrestre, noite terrestre, e noite solar. Os cálculos da temperatura no estado quiescente para essas condições são diretos e são dados por:

$$\alpha G A_p + Q = \epsilon \sigma F A_s T^4 \quad (2)$$

O comportamento transitório é do máximo interesse quando o satélite entra na sombra da Terra, ou seja, durante a noite solar. A equação do comportamento

transitório é:

$$WC_p \frac{dT}{dt} + \epsilon \sigma FA_\delta T^4 = Q \quad (3)$$

Esta equação pode ser aproximadamente resolvida expandindo o binômio $T^4 = (T_0 + \Delta T)^4$ e desprezando todos os termos a partir do segundo, ou seja fazendo:

$$T^4 \approx T_0^4 + 4T_0^3 \Delta T$$

Substituindo, virá:

$$\frac{d\Delta T}{dt} + C_1 \Delta T = C_2$$

onde:

$$C_1 = \left(\frac{4T_0^3 \epsilon \sigma FA_\delta}{WC_p} \right)$$

$$C_2 = \left(\frac{\epsilon \sigma FA_\delta T_0^4 - Q}{WC_p} \right)$$

e $\tau = \frac{1}{C_1}$ é a constante de tempo. Calculando tanto a solução complementar como a particular com as condições iniciais $t = 0$, $\Delta T = 0$, resultará:

$$\Delta T = \frac{C_2}{C_1} (1 - e^{-t/\tau})$$

portanto

$$T = T_0 + \frac{C_2}{C_1} (1 - e^{-t/\tau}) \quad (4)$$

Durante a órbita baixa em torno da Terra, a única energia de entrada para a seção superior origina-se do Sol e das perdas internas da telemetria

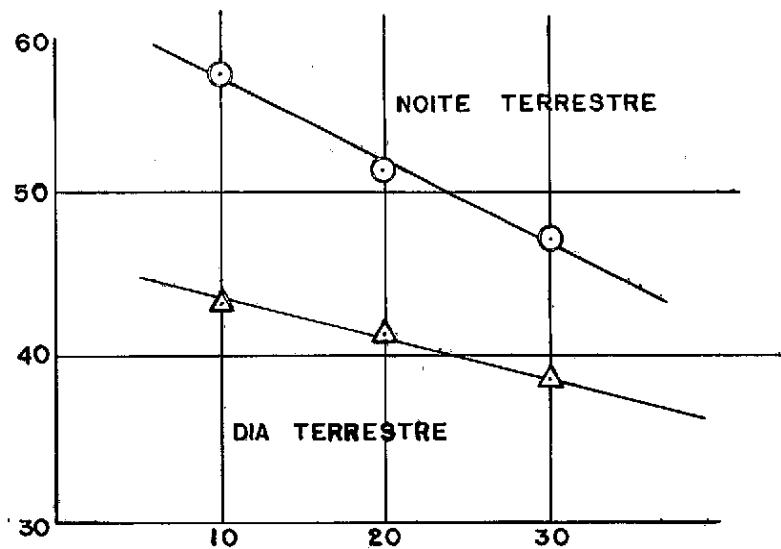


Fig. 4-31 TEMPERATURAS NO ESTADO QUIESCENTE DURANTE A NOITE E O DIA TERRESTRES

a e do computador. Nesta órbita os painéis solares estão próximos do corpo principal; $F = 0,84$, $X = 0,25$ e $\epsilon = 0,90$. Logo, a energia solar de entrada é:

$$Q_s = \alpha G A_p = 161 \text{ watts} \quad (5)$$

sendo de 15 watts as perdas na telemetria e no computador. Logo, resolvendo em relação à temperatura do estado quiescente obtêm-se

$$T = \left(\frac{Q + Q_s}{\epsilon \sigma F A_s} \right)^{1/4} = -43,3^\circ \text{C} \quad (6)$$

Esta temperatura, embora esteja dentro do limite aceitável de

-50°C, só será atingida se decorrer um longo tempo para levar o satélite da órbita elítica para a síncrona.

Durante as condições de dia terrestre, as válvulas de potência operarão com 75% de eficiência térmica. As duas válvulas de vídeo estarão transmitindo com eficiência dc/rf de 50%, e a válvula de comunicações terá uma eficiência variável. A distribuição exata de energia é dada pela tabela 4-9. As temperaturas do estado quiescente foram calculadas como antes mas fazendo $F = 0,9$ uma vez que os painéis solares acham-se estendidos. Os resultados estão indicados na Fig. 4-31.

Durante a noite terrestre as duas válvulas de vídeo serão operadas como válvulas de comunicações. Essas válvulas terão uma eficiência térmica de 75% mas terão uma eficiência de transmissão variável, como indicado na Tabela 4-9. As temperaturas do estado quiescente foram então calculadas como antes e os resultados são dados na Fig. 4-31.

Durante a noite solar apenas uma válvula de comunicação operará em potência reduzida. O coletor de baixa eficiência térmica será utilizado e assim a eficiência térmica será de 25%, e a eficiência de transmissão é variável. Estes valores de calor de entrada são então empregados com as temperaturas de estado quiescente da condição de noite terrestre para resolver a equação que dá o transitório correspondente a eficiências de 20% e 30%. A capacidade de calor é estimada partindo dos valores típicos dos materiais encontrados no satélite:

$$WC_p = \sum W_i C_{pi} \approx 20,8 \frac{W-hr}{^{\circ}K} \quad (7)$$

Como exemplo do comportamento transitório, veja-se a Fig. 4-32.

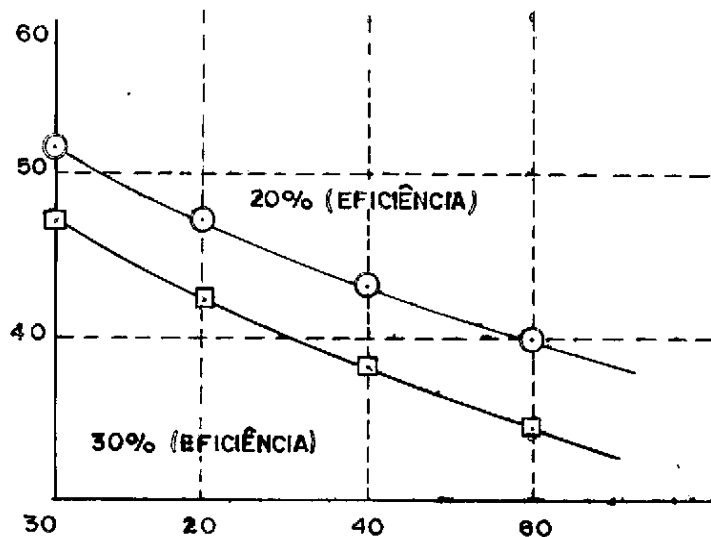


Fig. 4-32: COMPORTAMENTO TRANSITÓRIO DE TEMPERATURA PARA EFICIÊNCIAS DA VÁLVULA DE COMUNICAÇÃO

4.5.4 Seção Inferior

Na seção inferior existem várias áreas de interesse. As células de combustível devem ser mantidas a 150°F (66°C) ou acima e o Césio para os motores iônicos deve ser conservado acima de seu ponto de fusão de 100°F (37°C). Também é desejável que as fontes de eletricidade desses motores operem abaixo de 150°F (66°C).

A seção inferior é coberta com células solares como descrito na Seção 4.4.3. A energia solar de entrada pode ser calculada desde que a área projetada seja conhecida. Essa área, determinada por processos gráficos, é de $0,93\text{ m}^2$. Tomando por base a absorção da célula solar de 0,73 e a emissi-

Tabela 4-9

DISTRIBUIÇÃO DA POTÊNCIA (EM WATTS) A SER IRRADIADA PELOS TUBOS CONTÍNUOS DE CALOR
NAS DIFERENTES CONDIÇÕES DE TRABALHO

Condição	Eficiência de Transmissão (%)	Calor de vídeo a transmissão de comunicações	Calor de vídeo a transmissão de vídeo	Perdas do conversor DC-DC	Perdas do receptor e Modulador	Perdas da Telemetria e Computador	Energia Solar que entra	Total
Órbita Terrestre baixa		0	0	0	0	15	161	176
Dia Terrestre	30	122,5						635,5
	20	140,0	175	111	51	145	161	653,0
	10	157,5						670,5
Noite Terrestre	30	367,5						707,5
	20	420,0	0	111	51	115	161	758,0
	10	472,5						805,5
Noite Solar	30	315	30	34,5	17	115	0	408,5
	20	360						453,5
	10	405						498,5

vidade de 0,82, a temperatura pode ser calculada pela seguinte equação cujos elementos já foram definidos para a Eq. (1):

$$\alpha G A_p = \epsilon \sigma A F T^4 \quad (8)$$

Daí se obtém $T = -60^\circ\text{C}$.

Para que nem a célula de combustível nem o Césio se tornem excessivamente frios, são eles encapsulados em várias camadas de Mylar aluminizado. O calor dissipado pela célula de combustível aquece o Césio. Este serve como dissipador para ajudar a estabilizar a temperatura no compartimento. Para controlar o limite superior de temperatura, usam-se persianas controladas por um par termelétrico. As fontes de eletricidade dos motores iônicos estão dentro de uma estrutura similar. As persianas dos dois compartimentos requerem diferentes áreas para dissipar a desejada quantidade de calor, e operam em diferentes temperaturas.

O dimensionamento das persianas é baseado no método apresentado na referência 15. A célula de combustível dissipa 20 W a 160°F (71°C):

$$\begin{aligned} \epsilon_L \sigma A_L F_L T^4 &= Q \\ A_L &= \frac{Q}{\epsilon_L \sigma F_L T^4} \end{aligned} \quad (9)$$

As lâminas das persianas são de metal refletor de baixa emitância, articuladas à superfície do satélite, de modo que ao abrir-se expõem a superfície da espaçonave ao ambiente espacial (Fig. 4-33), escondendo-a ao fechar-se. Quando as lâminas estão abertas elas formam canaletas de seção transversal retangular. A posição totalmente aberta representa um caso limite: portanto, é importante conhecer as características de radiação térmica dessa configura-

ção. Nesta análise, supõe-se que as paredes estejam à mesma temperatura que o fundo, e que a canaleta é infinitamente longa. A energia transmitida através dela é dada por:

$$E_{\text{radiada}} = \left[\begin{array}{l} E_{\text{emitida da parede}} \times \text{fator da parede} \\ + E_{\text{emitida e refletida do fundo}} \\ \times \text{fator do campo de visão} \end{array} \right]$$

Para os corpos opacos, $\alpha + \rho = 1$. Propõe-se que as lâminas das persianas sejam de alumínio polido ($\epsilon = 0,052$, $\alpha = 0,19$). A placa de base deve ser pintada com LMSC branco ($\epsilon = 0,88$, $\alpha = 0,19$). Consequentemente $\rho = 1 - 0,19 = 0,81$. Com $\epsilon_{\text{base}} = 0,88$ e $\rho = 0,81$, o fator de emitância para a persiana totalmente aberta é $\{15\}$.

$$\epsilon_{\text{persiana}} = 0,92$$

Isto corresponde a uma canaleta infinita com um campo hemisférico de visão. A saia de descarga do foguete obstrui o campo da persiana de modo que uma estimativa conservadora seria um fator de visão da ordem de 0,20. Utilizando a Eq. (9)

$$A_{\text{persiana da célula de combustível}} = 0,137 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{persiana das fontes de eletricidade}} = 0,083 \text{ m}^2$$

A tubulação que conecta o mecanismo iônico com sua fonte de Césio é envolvida por várias camadas de Mylar aluminizado para assegurar que o Césio permaneça líquido. Essa tubulação é montada com fixadores de baixa condutividade para eliminar perdas de calor ao longo dos tubos.

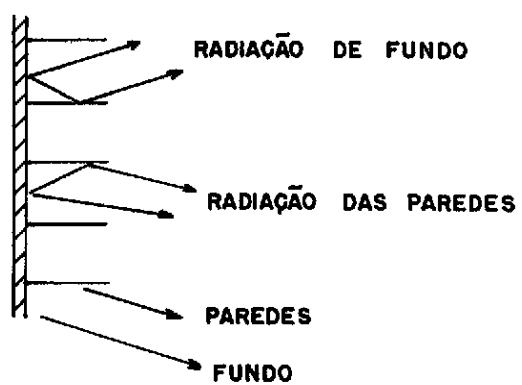
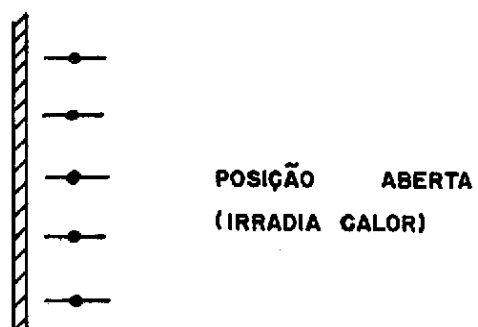
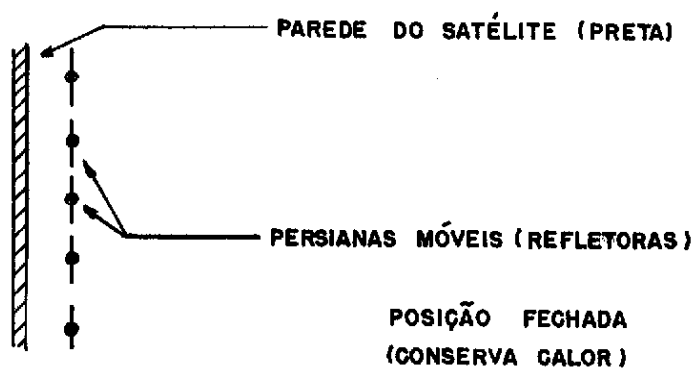


Fig. 4-33. OPERAÇÃO DAS PERSIANAS.

Os motores iônicos dissipam 200 watts. Como funcionam a 1100°C , o calor será irradiado diretamente para o espaço.

4.5.5 Análise de Temperatura das Células Solares

É eletricamente desejável manter as células solares tão frias quanto possível. Isto significa que a superfície voltada para o Sol deve ter uma baixa absorção e uma emissão relativamente grande. O lado oposto ao do Sol deve ter alta emissividade. Em altitude síncrona a energia refletida da Terra é pequena de modo que a absorção desta energia pela parte traseira das células solares não é muito importante.

Estão enumeradas na Tabela 4-10 as propriedades térmicas típicas de um painel solar similar ao proposto para o satélite.

Tabela 4-10

PROPRIEDADES TÉRMICAS DO SUBSTRATO LASEA* [4]

* Large Area Solar Cell Array

Material	absorção	Emissividade a 300°K
Teflon nũ	0,02	0,50
Pintura Branca HP-412	0,20	0,85
Superfície anterior de Teflon com pintura branca no lado posterior	0,25	0,85
Célula solar com cobertura típica	0,83	0,82
Painel solar com 85% das células solares em filme de Teflon e pin- tura branca no lado posterior	0,73	0,82

Foram efetuados testes simulando o ambiente solar (4) os quais indicaram que as diferenças entre as temperaturas de equilíbrio nas faces posterior e anterior do painel seriam inferiores a 2°F (1°C). A temperatura de operação em estado quiescente, à luz do Sol, foi calculada empregando valores de absorção e emissão dados acima, tendo-se encontrado 110°F (50°C).

Os testes de ciclo térmicos (13) indicaram que os painéis serão capazes de suportar a rápida mudança de temperatura que se verifica quando o satélite entra na sombra da Terra.

REFERENCIAS

1. James L. Adams, "Spacecraft Mechanical Engineering," Space Technology, II, NASA Sp-66, 1965.
2. Tommy C. Bannister, Pegasus Thermal Design, NASA Technical Memorandum TM X53300, 6, Agosto 1965.
3. T. P. Cotter, "Theory of Heat Pipes," Los Alamos Scientific Laboratory, University of California, 1965.
4. Kenneth A. Day e Daniel H. Winicur, "Large Area Solar Cell Array," Third Biennial Aerospace Power Systems Conference, Philadelphia, Pa., Setembro 1964.
5. Thomas K. Feldman, Jr. e Glen H. Whiting, "The Heat Pipe", Mechanical Engineering, Fevereiro 1967, pp. 30-33.
6. Goetzes, Rittenhouse, e Singletary, Space Materials Handbook, Addison-Wesley Publishing Co., Inc., Reading, Mass., 1965.
7. Grover, Cotter e Erickson, "Structures of Very High Thermal Conductance," J. App. Phys., 35, 6, Junho 1964.
8. ICARUS, Stanford-NASA Space Systems Project, Stanford University, Stanford, California, Agosto 1966.
9. S. Katzoff (Ed.), Symposium on Thermal Radiation of Solids, NASA SP-55, Washington, D.C., 1967.

10. J.B. Kendrick (Ed.), TRW Space Data, TRW Systems Group, TRW, Inc. Redondo Beach, California, 1967.
11. Frank Kreith, Principles of Heat Transfer, 2d ed., International Textbook Co., Scranton, Pa., 1965.
12. R.B. Marsten e S. Gubin, "System Design of a Proposed Direct-to-Home TV Satellite Experiment, "Spacecraft and Space Systems, Astro-Electronics Division of RCA, 1966.
13. J.F. Parmer, "The Thermal Radiation Characteristics of Specular Walled Grooves in the Solar Space Environment," AIAA Paper N° 66-459, Fourth Aerospace Sciences Meeting, Los Angeles, California, 27-29 Junho 1966.
14. K.A. Ray, "Flexible Solar Cells Arrays for Increased Space Power", IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, AES-3, 1, Janeiro 1967.
15. Elmer E. Streed, "A Discussion of Spacecraft Thermal Control Techniques, " Working Paper N° 12, Ames Research Center, Moffett Field, California, 15, Março 1965.

4.6 TELEMETRIA E CONTRÔLE

4.6.1 Necessidades Gerais

As três fases de operação são: (1) lançamento e posicionamento, (2) modo normal (para o dia e a noite da Terra). e (3) operação no eclipse (quando o satélite passa pela sombra da Terra nos equinócios de inverno e verão).

1. Lançamento e Posicionamento. Logo depois do satélite lançar fora a capa protetora das antenas, deve-se fazer o contato de telemetria para estabelecer a posição do satélite antes da ignição do motor de injeção no apogeu. O propelente gasoso deve ser conservado a 37°C para assegurar uma operação correta. Será necessário acompanhar os sensores de atitude e rotação. Os sistemas de propelente gasoso deverão ser capazes tanto de impulsos momentâneos como de fornecer impulsão contínua; já o motor de apogeu é um motor de um só disparo, de controle tipo "liga-desliga".

2. Modo Normal. No modo normal, os painéis de células solares estarão extendidos, os sistemas eletrônicos (ajuste da posição e estabilização) e o sistema de controle térmico estarão todos operando. Neste modo os seguintes parâmetros serão acompanhados:

a. Sistemas eletrônicos:

Corrente e voltagem da fonte de potência

Carga e Voltagem da bateria

Informação da TWT (temperatura da válvula e voltagens de catodo, anodo e coletor)

Voltagem do CAG nos transmissores principais de potência

Voltagem, temperatura e corrente do painel solar

Voltagem do acelerador do motor a ions

b. Sistema de estabilização e conservação da posição:

Sensores de atitude e de rotação

Frequências dos dois motores síncronos usados para controlar a quantidade de movimento angular.

Temperatura do combustível dos motores a ions

c. Sistema térmico. Além das temperaturas acima mencionadas, se não testados vários outros pontos na espaçonave.

Os seguintes controles serão necessários:

a. Sistemas eletrônicos (além dos circuitos de proteção para os motores, válvulas, etc.):

Capacidade de ligar e desligar as voltagens do catodo, anodo e coletor

Contrôle do nível de CAG para permitir que as válvulas sejam retiradas da saturação para operação durante a noite Terrestre

b. Sistema de estabilização e de conservação da posição:

Contrôle "liga-desliga" dos motores de ions

Capacidade de dominar, com comandos externos, o sistema automãtico de pontaria da antena

c. Eclipse solar:

Contrôle do coletor da válvula de comunicações para permitir a desfocalização do feixe.

4.6.2 Implementação do Sistema de Telemetria e de Comando

O sistema de telemetria e de comando deverá fornecer sinais controladores de entrada e transmitir os dados medidos com as maiores eficiência e confiabilidade possíveis. O satélite SACTI será um sistema complexo e haverá

necessidade de controlar um elevado número de parâmetros. Grande parte do sistema do satélite será controlada pelo próprio processador de bordo; o sistema de comando de terra terá capacidade de predominar sobre o de bordo e de executar algumas das principais funções de controle. Assim, a técnica atual basta para esse sistema. As necessidades de alta qualidade de transmissão de dados com um mínimo de largura de faixa, tamanho, peso e complexidade poderão ser adequadamente satisfeitas com o material já existente.

A técnica de modulação mais confiável para as necessidades de telemetria (ver Fig. 4-34) emprega um sistema multiplex no tempo usando modulação bifásica com codificação de pulsos. O comutador principal que efetua a amostragem das várias fontes de dados poderá ser acionado por sub-comutadores e sub-subcomutadores, o que permite diferentes velocidades de amostragem. A saída de cada transdutor é um pulso cuja amplitude é quantizada por um conversor de análogo para digital de 4 bits para um de 16 níveis. Este código de pulsos em paralelo é convertido num trem de pulsos em série, que, por sua vez, controla a fase da portadora transmitida. O uso de técnicas digitais permite o amplo emprego de circuitos integrados.

O sistema de comando usará modulação bifásica com codificação de pulsos. Entretanto, a informação de controle digital será primeiro modulada em frequência sobre uma subportadora a qual, então modula em fase a portadora a transmitir. O uso de uma subportadora com desvio de frequência (FSK) evita a necessidade de um demodulador coerente no satélite e reduz assim sua complexidade. O bit de sincronismo poderá ser transmitido como AM sobre a subportadora (FSK).

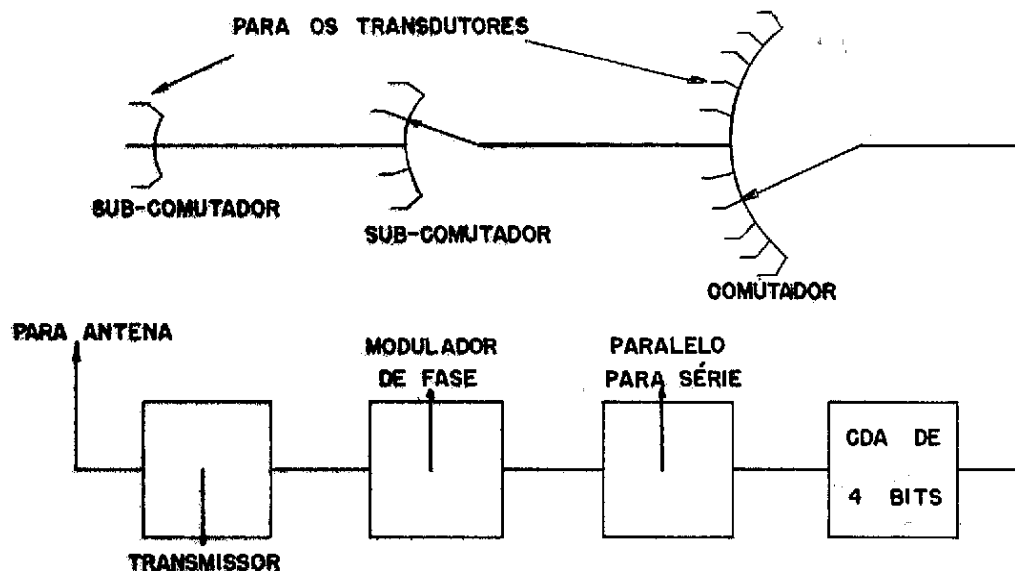


Fig. 4-34 DIAGRAMA DE BLOCO DO SISTEMA DE TELEMETRIA

A saída do demodulador é alimentada ao processador de bordo o qual co difica os dados e envia os sinais apropriados para os vários sistemas.

A Fig. 4-35 mostra um diagrama de blocos do sistema de comando. Os parâmetros do sistema encontram-se no sumário abaixo:

- | | | |
|----|---|------------|
| a. | Modulação na ligação terra-satélite: | PCM/FM/PM |
| b. | Modulação na ligação satélite-terra: | PCM/PM |
| c. | Frequência: | 130 MHz |
| d. | Necessidade de potência (incluindo o processador de comandos) | < 25 watts |

Quando o sistema SACI estiver mais desenvolvido, será necessário um projeto mais detalhado mas não será preciso aperfeiçoar a técnica atual.

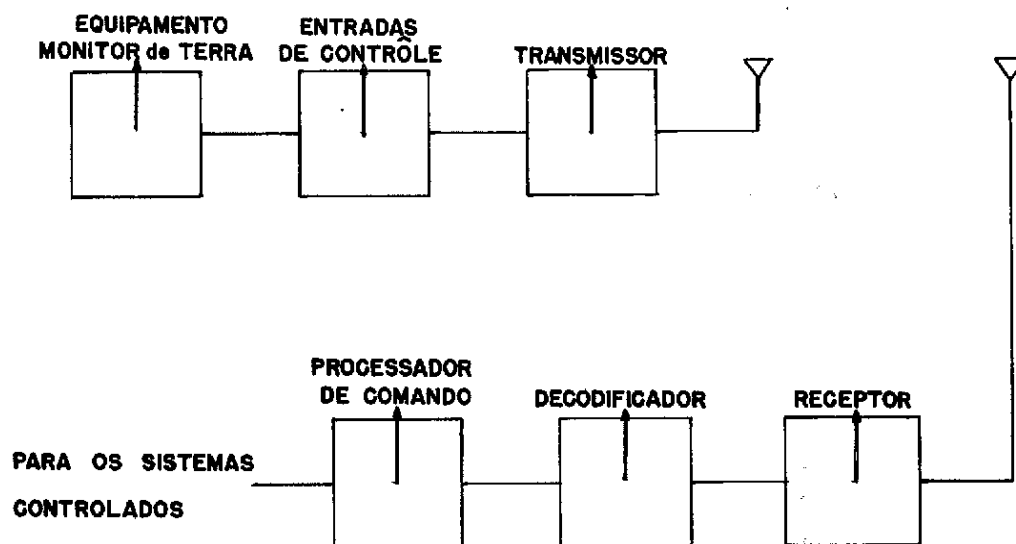


Fig. 4-35 DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DE COMANDO

4.7 CONTRÔLE DA NAVE ESPACIAL

4.7.1 Necessidades do Sistema

As necessidades básicas do sistema de controle em regime quiescente foram determinadas pelas características do diagrama de irradiação da antena. A atitude do satélite deve ser mantida de tal maneira que sua antena principal fique apontada para um ponto de referência sobre a Terra, com erro inferior a $0,1^\circ$, pois do contrário alguma área do país, nos limites do feixe, poderá receber um sinal muito fraco por não estar dentro do contorno de -3db . A posição do satélite em órbita deverá ser mantida de tal forma que seu afasta

mento máximo da posição desejada, medido a partir do solo, seja $0,3^{\circ}$.

Notar que mesmo uma órbita inicialmente perfeita começará a mover-se periodicamente em longitude, cada dia, devido à pressão de radiação sobre o satélite, transformando a órbita circular em elíptica e esta novamente em circular no ano seguinte. O efeito poderá ser reduzido à metade usando-se inicialmente uma órbita ligeiramente excêntrica ($e = 0,0018$, com o perigeu afastado do Sol), e então o efeito de radiação será simplesmente o de dar ao perigeu um movimento anual de rotação sem mudança na excentricidade. Essa excentricidade constante produzirá uma oscilação diária do satélite de ± 2 e $\pm 0,2^{\circ}$ em longitude. Este valor está dentro dos limites admissíveis, não exigindo medidas corretivas.

Foram considerados quatro métodos de controle do satélite. A estabilização por gradiente de gravidade pareceu à primeira vista muito atraente devido à sua operação passiva e simples. Entretanto, foi calculado que para obter-se $0,1^{\circ}$ no controle de atitude, seriam necessários braços longos com grandes massas nas pontas, chegando-se assim a um peso total excessivo. A

*

Foi feita uma investigação detalhada das características do gradiente gravitacional e da necessidade de $0,1^{\circ}$ no controle da atitude do sistema na altura síncrona. Esta informação está relatada no Apêndice C.

estabilização de três eixos foi eliminada devido à necessidade de uma articulação de baixa velocidade relativa entre a seção orientada para a Terra e a seção orientada para o Sol. Na velocidade angular de apenas 1 revolução por dia, as partes móveis da articulação tenderiam a se soldar no vácuo espacial. Foi proposto um sistema estabilizado por rotação, semelhante ao usado no satélite ATS-4, mas o custo de muitas células solares era alto, e o peso e as dimensões da estrutura do cilindro de células solares implicaria no uso de um "foguetete" grande e caro. Finalmente conclui-se que o sistema de rotação regulada era a acomodação mais aceitável entre o peso, custos e controle.

A segunda consideração importante a respeito do sistema de controle é a seleção dos motores auxiliares. Como a minimização da massa do sistema era um objetivo primordial foi feito um estudo comparativo do qual resultou o gráfico da Fig. 4-36 mostrando que os motores a íons eram a melhor escolha. Durante um ano, as operações deles só necessitarão de 1 kg de combustível. Na discussão das operações para conservação da posição são dadas mais informações a respeito dos motores a íons.

O sistema de controle do satélite fará três diferentes operações de controle, que serão descritas nas três seções seguintes. Todas as operações poderão ser controladas do solo, mas as funções de controle de atitude são normalmente executadas pelos sistemas automáticos de bordo.

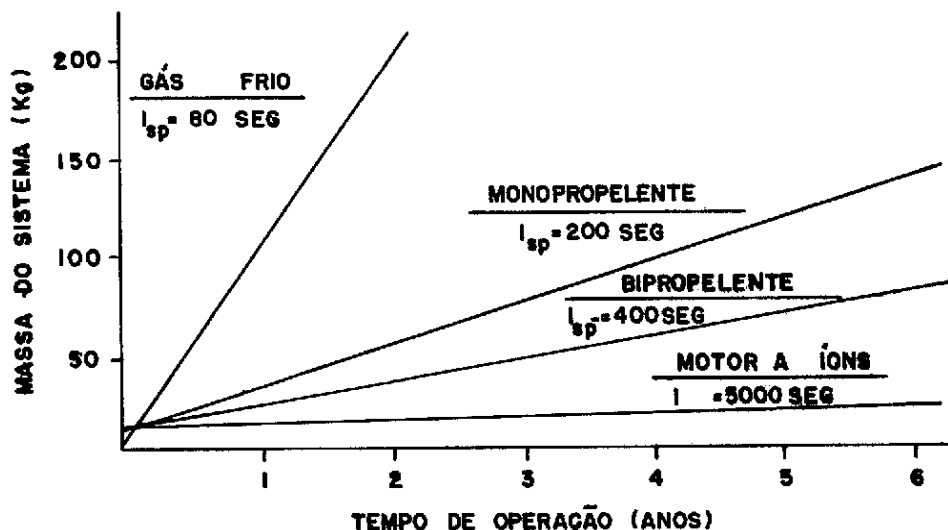


Fig. 4-36 MASSA DO SISTEMA EM FUNÇÃO DO TEMPO DE OPERAÇÃO [6]

4.7.2 Contrôle de Atitude ao Redor do Eixo Longitudinal

Como o eixo de rotação do satélite é normal ao plano equatorial da Terra, o controle ao redor do eixo longitudinal aponta a antena na direção leste-oeste e orienta o painel solar perpendicularmente aos raios do Sol. A seção da antena deverá ser mantida girando com uma velocidade constante de 1 revolução por dia com precisão direcional de $0,1^\circ$, e a seção do painel solar deverá ter uma velocidade de rotação constante de 1 revolução por ano com precisão direcional de cerca de 5° .

Para conseguir isso, foi adotado o sistema estrutural acima descrito. Dois motores síncronos, cujas carcaças estão presas às duas seções a serem controladas, têm um eixo comum preso à seção rotativa inferior. Os detalhes do projeto do sistema estão contidos no Apêndice D.

A velocidade de rotação da seção inferior não entra em consideração para o controle de inclinação longitudinal mas foi mantida relativamente alta a fim de diminuir a razão de crescimento do erro relativo aos outros dois eixos de referência devido aos momentos perturbadores que agem perpendicularmente ao eixo longitudinal, ou de rotação. O período de correção pode ser aproximadamente relacionado à velocidade de rotação da seguinte maneira:

O total da quantidade de movimento angular em relação ao eixo de rotação é:

$$H_z = J_1 w_1 + J_2 w_2 + J_3 w_3$$

onde:

$w_1 = 1 \text{ rev/dia}$	$J_1 = 22,6 \text{ kg-m}^2$
$w_2 = (\text{a ser determinada})$	$J_2 = 27,3 \text{ kg-m}^2$
$w_3 = 1 \text{ rev/ano}$	$J_3 = 1060 \text{ kg-m}^2$

assim:

$$H_z = \frac{1}{24 \times 60} \times 22,6 + w_2 \times 27,3 + \frac{1}{365 \times 24 \times 60} \times 1060$$

$$= 0,0157 + w_2 \times 27,3 + 0,00202$$

Então, considerando-se a alta velocidade angular w_2 , H_z pode ser dado aproximadamente por $H_z \approx w_2 \times 27,3$.

4.7.3 Velocidade de Rotação da Seção Inferior

Se os painéis solares não se estenderem totalmente, aparece um momento em relação ao eixo dos X (no plano dos painéis solares). Esse momento

está calculado no Apêndice B e é de $2,5 \times 10^{-6}$ N-m.

Dêle é que se espera maior perturbação, pois o desalinhamento dos motores a ions será compensado ajustando-se os intervalos de disparo como explicado na seção 4.7.5. Os outros momentos naturais são muito menores que a pressão solar.

É de se desejar uma precisão direcional de $0,1^\circ$, ou $0,001745$ radianos. A fim de não corrigir o satélite mais do que uma vez por dia, a velocidade de rotação do seu corpo inferior deverá ser maior que um certo valor crítico.

O erro angular é relacionado à quantidade de movimento angular total e aos momentos perturbadores por:

$$\theta = \frac{dH}{H} = \frac{Tt}{H_z w_2} \quad (\text{para } \theta \text{ pequeno})$$

onde T = momento

t = período de correção (1 dia = 86,400 seg)

H_z = momento de inércia da seção rotativa ($27,3 \text{ kg m}^2$)

w_2 = velocidade de rotação

Obtêm-se daí, $w_2 = 6,3 \text{ rad/seg}$ ou 60 rpm . Em vista das necessidades de estabilização do motor de injeção, durante a fase de entrada em posição, a velocidade real de rotação será próxima de 200 rpm , do que resulta num intervalo de cerca de uma semana entre correções.

Se um painel solar não se estender completamente, aparecerá um momento que tende a acelerar ou desacelerar a seção rotativa do satélite. O momento máximo suscetível de ser compensado é o produzido pelos motores a ions radiais. Este momento é $T = F \times R = 2 \times 10^{-3} \times 0,75 = 1,5 \times 10^{-3} \text{ N-m}$. 0

Apêndice D mostra que o momento sobre o painel solar é $1,4 \times 10^{-5}$ N-m, logo a não extensão de um painel causará um momento bem inferior à capacidade do sistema de controle.

4.7.4 Contrôle de Atitude em Relação aos Eixos de Inclinação Lateral e de Guinada

Na antena principal do satélite, um erro em relação ao eixo de inclinação lateral perturba o posicionamento norte-sul; enquanto um erro em relação ao eixo de guinada é equivalente à rotação da antena. Como será explicado adiante, as componentes, segundo esses eixos, de um erro de alinhamento são correlacionadas e periódicas, e possuem valores máximos iguais. Como o sinal transmitido é circularmente polarizado, um erro de guinada apenas gira o diagrama de irradiação. Mediante um diagrama circular como o proposto para o Brasil, isto não acarretará alteração alguma. Assim, a componente que deverá ser monitorada é a que produz o erro de inclinação lateral e esta é a informação dada pelo interferômetro da antena e pelo par de sensores de horizonte em Terra.

A dificuldade na tentativa de corrigir um erro de alinhamento é que a aplicação do momento corretor sob a forma de um pulso só muda o vetor quantidade de movimento angular e por isso o eixo de rotação começa a precessar porque não está mais alinhado com o vetor. A amplitude deste movimento oscilante é usualmente tão grande quanto a correção angular que se desejava introduzir. Assim tudo que se fez foi trocar um erro constante por um outro senoidal. Usualmente trata-se este problema incluindo um amortecedor passivo

no satélite que dissipará energia e assim transformará o movimento oscilante num espiralado amortecido tendendo para a posição correta.

O longo tempo necessário neste modo de reduzir a oscilação, poderá representar uma degradação considerável da performance do sistema. Por isso, o caminho aqui seguido é o do método de dois pulsos. Este método consiste no emprego de pulsos retangulares de momentos espaçados entre si de maneira a eliminar ou reduzir o movimento de precessão do satélite.

Dois jatos de íon; cada um aplicando um empuxo paralelo ao eixo de rotação, acham-se situados nas posições mostradas na Fig. 4-37.

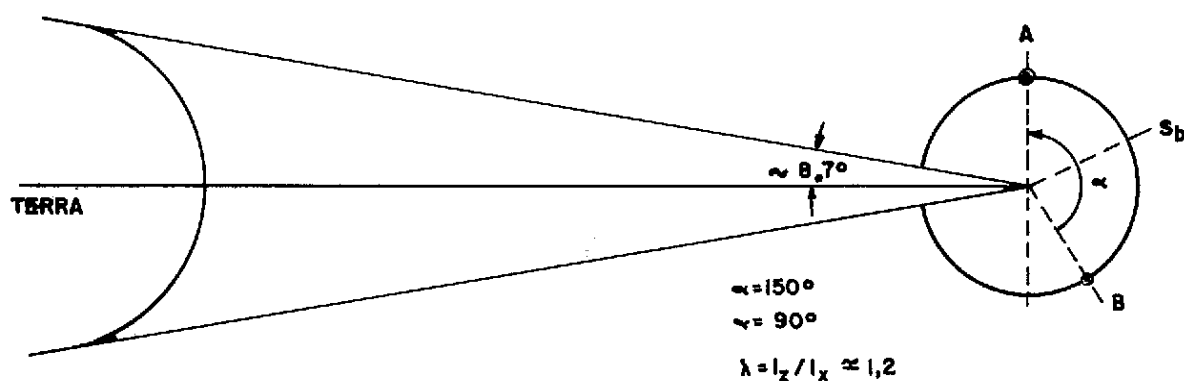


Fig. 4-37 CONFIGURAÇÃO PARA OS SENSORES DE TEMPO E JATOS

Quando o erro excede o nível permissível de $0,1^\circ$, e o jato A está corretamente alinhado no espaço inercial, um pulso de igual é disparado por esse jato. Após o ângulo de rotação do satélite ter crescido de uma quantidade α , um de igual valor é expelido pelo jato B. Ângulo α é escolhido

de tal forma que o movimento periódico (precessão) causado pelo segundo pulso é defasado exatamente de 180° em relação à oscilação induzida pelo primeiro pulso (ver Apêndice D). Assim a oscilação seguinte à aplicação do par de pulsos é, idealmente, zero. A Fig. 4-38 mostra o movimento do satélite durante um ciclo completo.

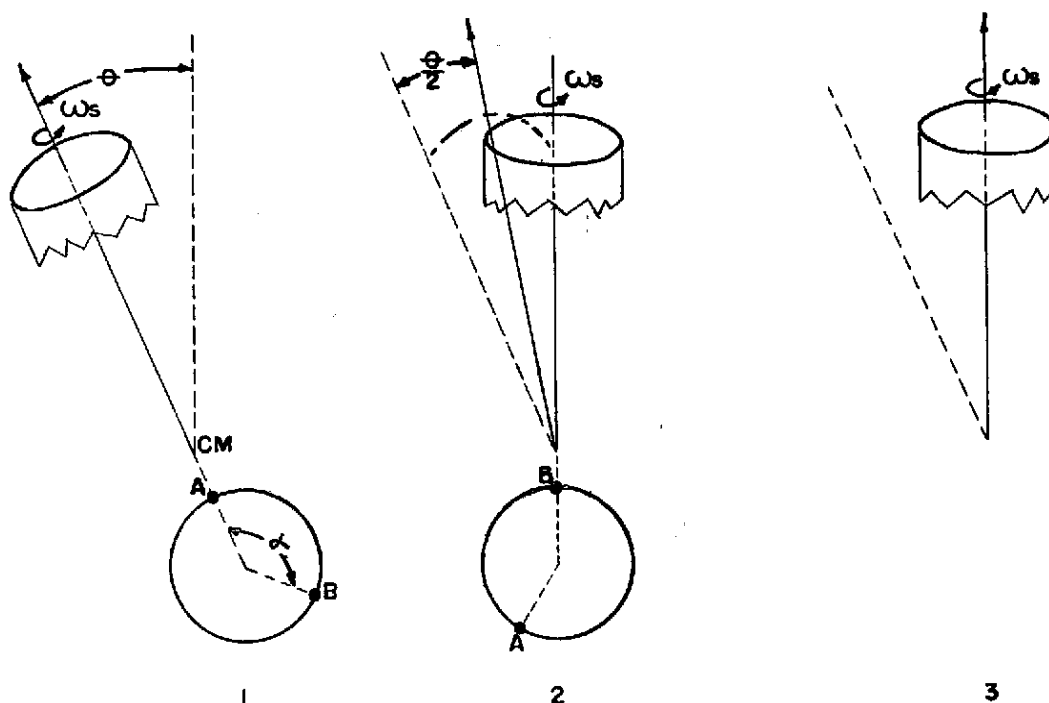


Fig. 4-38. CORREÇÃO DE ALINHAMENTO POR DOIS PULSOS

A atitude do eixo de rotação relativa ao sistema de coordenadas girante (x_0, y_0, z_0) é definida pelo ângulo de inclinação lateral θ e pelo ângulo de guinada ϕ . Recorde-se que θ é a inclinação do eixo de rotação do satélite com o plano horizontal. A fim de alinhar o eixo de rotação com a normal ao plano orbital, os ângulos θ e ϕ deverão ser ambos nulos (Fig. 4-39).

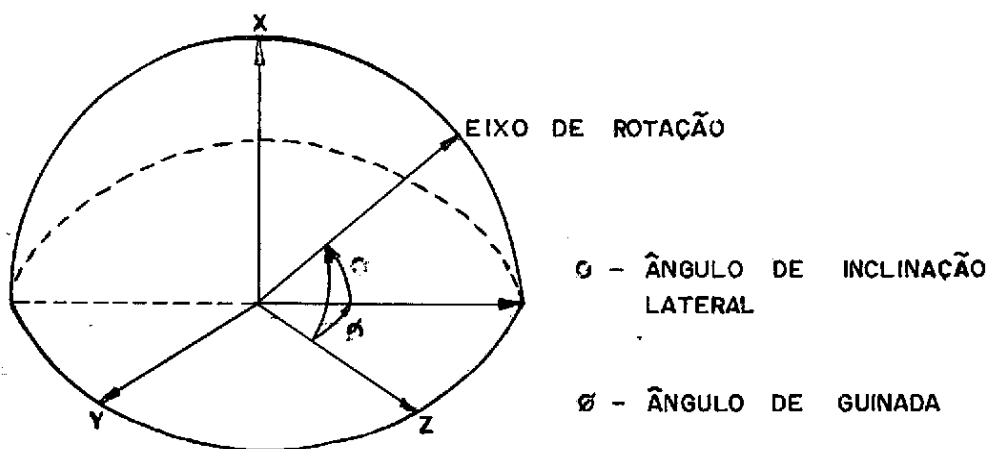


Fig. 4-39 DEFINIÇÃO DOS ÂNGULOS DE INCLINAÇÃO LATERAL E DE GUINADA

Dois detetores de infravermelhos*, com os respectivos acessórios óticos e eletrônicos, serão rigidamente montados no corpo girante do satélite de tal forma que os dois eixos óticos definam um plano contendo o eixo de rotação. Os detetores estarão igualmente inclinados em relação ao plano transversal. Ao varrer a superfície da Terra, cada detetor emitirá um pulso. Desprezando-se o ruído de fundo, as incertezas de horizonte, etc., as saídas dos sensores serão semelhantes às da Fig. 4-40. Se o eixo de rotação estiver inclinado em relação ao plano horizontal, as saídas dos sensores serão

*Informação específica sobre esses sensores é dada no Apêndice F.

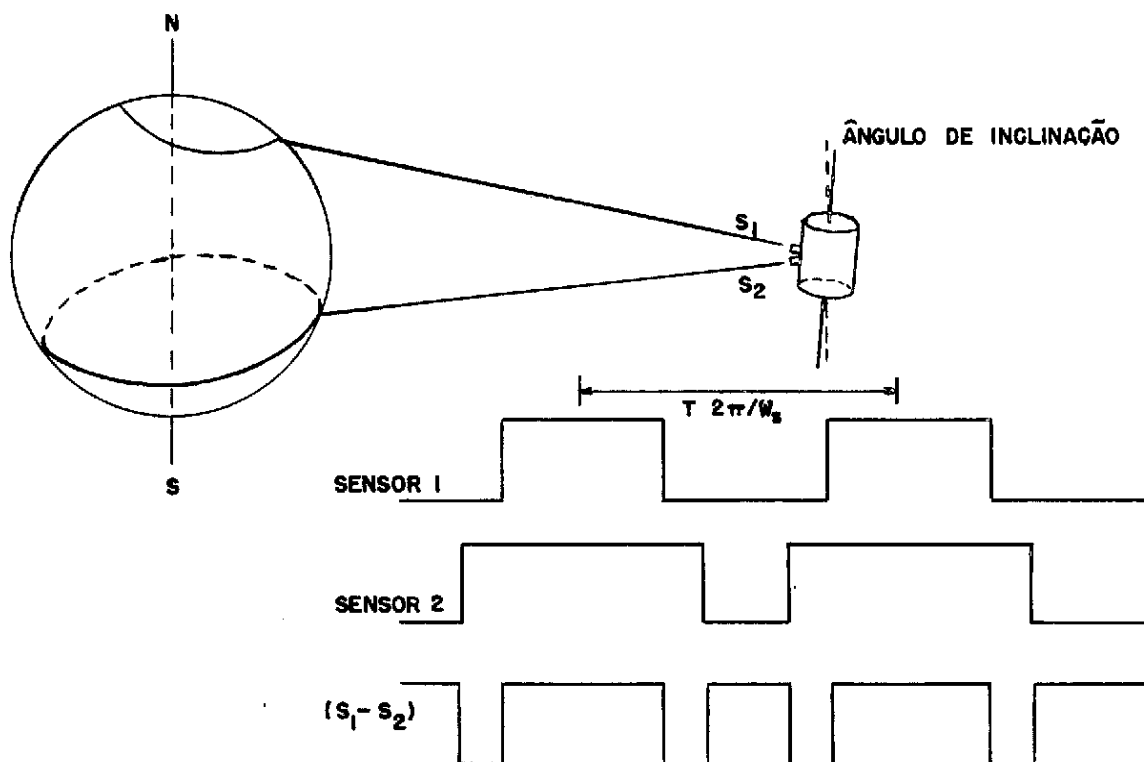


Fig. 4-40. SAÍDAS DOS SENSORES DE HORIZONTE.

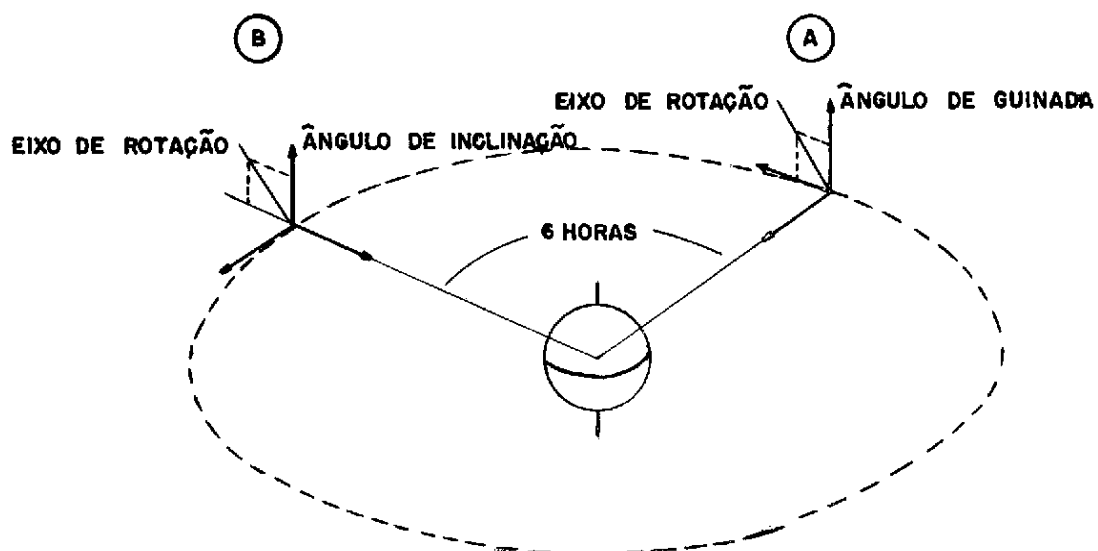


Fig. 4-41. TRANSFORMAÇÃO DO ERRO. Um erro no ângulo de guinada em A é transformado num erro de inclinação após um quarto de período.

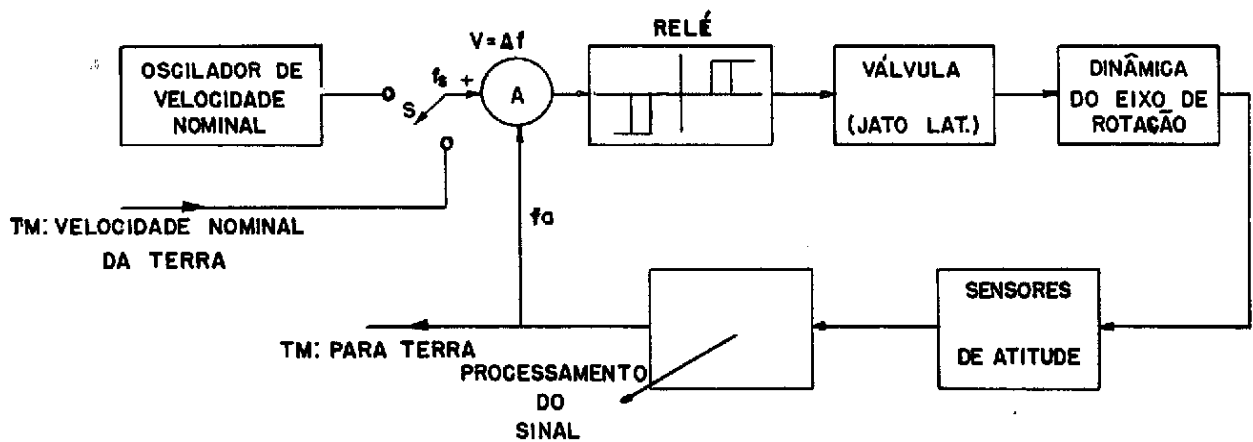


Fig. 4-42 SISTEMA DE CONTRÔLE DE VELOCIDADE DE ROTAÇÃO . A velocidade de rotação também poderá ser controlada diretamente da estação em Terra. O instrumento A fornece uma saída proporcional à diferença de frequências ($f_s - f_o$), e sua saída controla o relé que opera o micro-jato lateral. A informação relativa à velocidade real é guardada nos sensores de atitude, e após um processamento adequado do sinal, a nova frequência de rotação é injetada em A. A válvula não precisa ser sincronizada, e de fato, o jato lateral poderá operar durante todo o tempo que o relé estiver ligado.

O jato B é disparado em $\phi = 150^\circ$ após o jato A e é comandado pelo sensor de tempo S_b (Fig. 4-44). Quando o erro de inclinação lateral excede $0,1^\circ$, o sistema lógico desliga as chaves 1 e 2 e, sincronizado por S_a e S_b , dispara os jatos de íons A e B. Como em cada revolução os disparos dos jatos de íons produzem uma força de $2 \times 10^{-3} \text{ N}$ num raio $R = 0,75 \text{ m}$, sobre dois arcos de 20° , e como a parte giratória está a 200 rpm, a mudança no ângulo de inclinação lateral será:

$$\delta = \frac{2FR\Delta t}{H_z \omega_2} = 5,0 \times 10^{-6} \text{ graus/revolução}$$

diferentes e as diferenças no sinal ($S_1 - S_2$) fornecerão uma indicação do ângulo de inclinação. O sistema é insensível ao ângulo de guinada. Mas a característica quase inercial do eixo de rotação fornecerá um vínculo cinemático entre os ângulos de inclinação e de guinada, de modo que dita insensibilidade não acarreta dificuldades. Tal propriedade é mostrada na Fig. 4-41, onde se vê que, um erro puro de guinada que não seja detetado na posição 1 é transformado, 6 horas mais tarde, num puro erro de inclinação. Assim, o controle do ângulo de inclinação é suficiente porque qualquer guinada excessiva aparecerá como um ângulo de inclinação um quarto de período de órbita mais tarde.

Os sensores de atitude serão também capazes de fornecer o valor da velocidade de rotação própria do satélite. A Fig. 4-42 mostra o sistema de controle dessa velocidade. Os jatos que a controlam produzem momentos alinhados com o eixo de rotação do satélite, de maneira que não há necessidade de sincronizar suas atuações com a rotação dele.

A Fig. 4-43 mostra o sistema de controle de atitude para o satélite SACI. Sensores de tempo S_a e S_b fornecem pulsos sincronizados ao varrer o horizonte da Terra. O sensor de tempo S_a opera o jato A e S_b opera o jato B.

A informação referente ao ângulo de inclinação lateral vem dos sensores de atitude 1 e 2, e se for observado um erro de $\pm 0,1^\circ$, a porta 1 ou a 2 acionará o circuito "E" quando o jato A estiver alinhado corretamente (sinal proveniente do sensor S_a). Se a correção a ser feita é negativa, será necessário atrasar a atuação do jato A, esperando meia revolução para o alinhamento correto. Em vista disso, os circuitos de atraso e de retenção são controlados pela rotação real do satélite.

Assim, cerca de 20.000 pulsos serão necessários para corrigir $0,1^\circ$ de erro, e em 100 minutos o erro de inclinação é reduzido a um valor desprezível.

Como o momento do jato de ion é cerca de cem vezes maior que o principal momento perturbador devido à radiação solar (mas só atua durante 1/9 de cada revolução), espera-se para esse sistema um ciclo máximo de trabalho de 0,10.

O sistema completo de controle de atitude deverá ser desligado ao nascer e ao pôr do sol porque nesses períodos os painéis solares obstruem o funcionamento dos sensores de horizonte.

4.7.5 Conservação da Posição

Para selecionar um sistema de conservação da posição, foi necessário primeiro determinar a magnitude das forças perturbadoras. Além dos efeitos da pressão de radiação, discutidos no começo desta seção, verificou-se que as forças dominantes serão devidas às variações do campo gravitacional (causadas pelo Sol, e a Lua, e a não esfericidade da Terra) e que outras forças serão menores no mínimo uma ordem de grandeza.

A causa principal da perda de posição na órbita é a não esfericidade do campo gravitacional terrestre. Bastam 10 m/s para neutralizar este efeito por 5 anos.

Se não for corrigido o deslizamento normal à órbita, devido à influência da Lua e do Sol, haverá um aumento de $\pm 0,85^\circ$ por ano na inclinação da órbita. A necessidade de mudança de velocidade em 5 anos para neutralizar esta força é de 250 m/s.

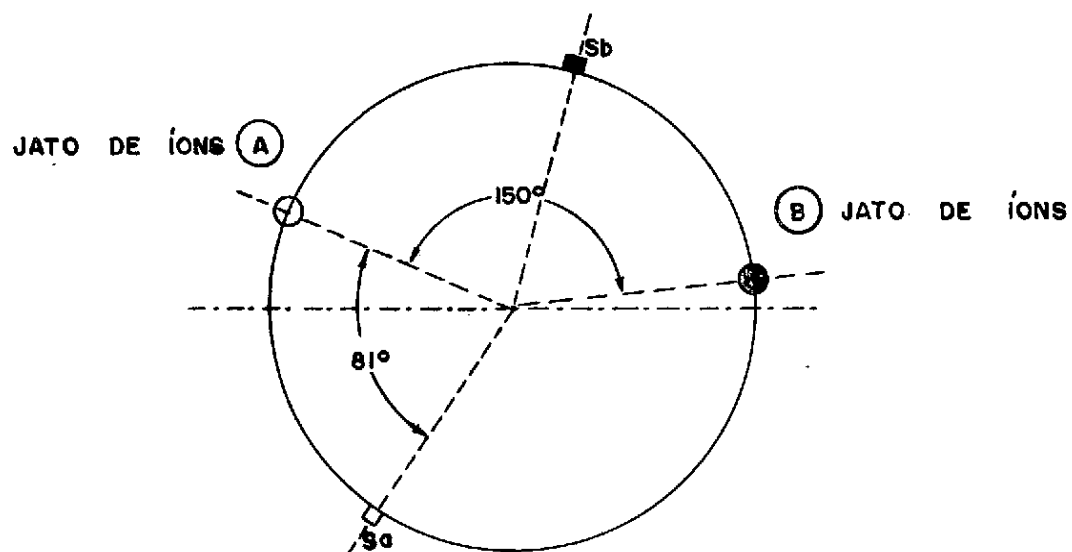
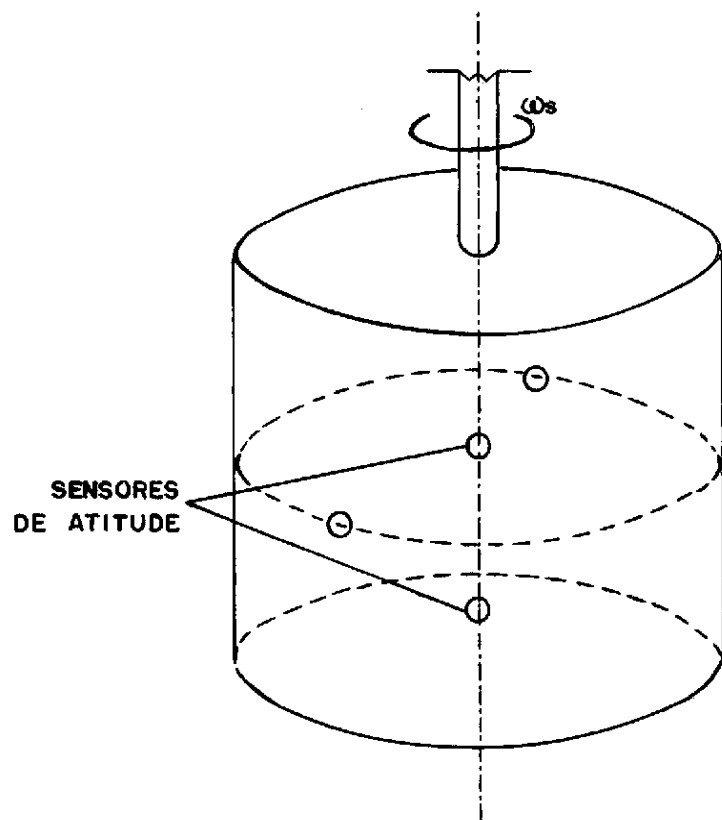


Fig. 4-44. LOCALIZAÇÃO DOS JATOS E DOS SENSORES.

Estabelecidas essas necessidades, as seguintes considerações levam à seleção de um sistema de motores de íons para a conservação da posição. Uma pesquisa na literatura técnica indica um acôrdo geral em que os sistemas de motores de íons já estão aperfeiçoados a ponto de serem considerados como qualificados para os vôos. Os sistemas de propulsão elétrica oferecem uma economia apreciável em peso se adotados em veículos com tempo de vida superior a um ano. Devido a sua elevada impulsão específica, os sistemas de motores de íons consomem combustível à razão de apenas 1 kg/ano se aplicados em satélites síncronos de peso médio, e quase todo o peso do sistema consiste da estrutura, condicionamento de potência, etc..

As duas principais desvantagens da propulsão a íons são: (1) níveis baixos de empuxo (da ordem de 250 d), e (2) algumas dúvidas a respeito da confiabilidade a longo prazo devido à falta de experiência em vôo. O estado atual da técnica permite esperar uma vida de aproximadamente 2 anos, e novos progressos em futuro próximo deverão aumentar este valor significativamente. Além do mais, o baixo peso dos sistemas de propulsão de íons permite instalar motores de reserva e ainda conservar o peso deles todos abaixo de qualquer outro sistema competitivo.

Foi selecionado para este projeto um motor "cesium contact-ionizat ion strip". O empuxo de cada motor é de 220 d e a impulsão específica é de 5.000 segundos. Todos os motores são montados na seção rotativa: um é montado axialmente, outro é montado em um ângulo tal que o vetor do empuxo passe através do centro de massa, e dois são montados tangencialmente, em direções opostas, para controlar a velocidade de rotação. Por medida de segurança a cada motor corresponde outro idêntico de reserva. Apesar de ser estimado que

não será necessário disparar mais que um motor, foi especificado como margem de segurança, que 200 watts de potência deverão estar sempre disponíveis. Isto permitirá que dois motores sejam disparados simultaneamente.

Serão comandadas do solo todas as correções de conservação de posição. Num ciclo típico de 24 horas, o motor axial funcionará continuamente durante 8 horas para anular o deslizamento de inclinação (4 horas antes e 4 horas depois de passar pelo nodo descende se o jato está apontado para o Sul). O motor, cujo eixo passa através de centro de massa, disparará pulsadamente durante 4 horas para anular o deslizamento longitudinal. O jato axial funcionará pulsadamente para corrigir a orientação do eixo de rotação (quando o satélite caminha para o norte se o jato aponta para o sul). Os jatos tangenciais dispararão no mesmo trecho usado para orientar o eixo de rotação de maneira a corrigir a velocidade de rotação. Como essas duas últimas correções neutralizarão os momentos devidos principalmente ao não alinhamento dos motores de ions, elas sõmente serão necessárias por algumas horas em cada período de 24 horas. Após ter sido precisamente determinado, o desalinhamento do jato axial será corrigido disparando continuamente durante menos de uma revolução completa para alinhar com o centro de massa o vetor resultante do empuxo integrado.

A massa total do sistema de motores de ions será de 20 kg, 7 dos quais corresponderão ao Césio que servirá de combustível. Os oito motores de empuxo de ions pesarão cerca de 0,8 kg cada.

Uma promissora possibilidade de aperfeiçoamento futuro é a de controlar a orientação do vetor de empuxo por deflexão eletrostática. Foi decidido não incorporar este conceito no projeto porque não está demonstrada sua confiabilidade a longo prazo.

Também foi feito um estudo da possibilidade de usar os motores de conservação da posição para transferência com baixo empuxo, da Órbita inicial para a órbita síncrona, mas conclui-se que isso necessitaria de mais de 10 anos.

REFERÊNCIAS

1. J.R. Anderson, "Performance of Ion Engines and Systems for Satellite Control", J. Spacecraft and Rockets, 3, 7, 1966, p. 1086.
2. J. R. Anderson and G.A. Work, "Station Keeping and Attitude Control System", J. Spacecraft and Rockets, 3, 12, 1966, p. 1772.
3. B.H. Billik, "Cross-Track Sustaining Requirements for a 24-Hr Satellite", J. Spacecraft and Rockets, 4, 3, 1966, p. 297.
4. R.A. Boucher, "Electrical Propulsion for Control of Stationary Satellite", J. Spacecraft and Rockets, 1, 2, 1964, p. 164.
5. A.G. Earl and B. P. Bay, "Review of Satellite Combined Attitude and Orbit Control Systems", Spaceflight, 9, 1, 1967.
6. M.P. Ernstene et al, "Surface Ionization Engine Development", J. Spacecraft and Rockets, 3, 5, 1966, p. 744.
7. A.T. Forrester and F. A. Barcatta, "Surface Tension Storage and Feed Systems for Ion Engines", J. Spacecraft and Rockets, 3, 7, 1966, p. 1080.
8. R.H. Frick and R. B. Garber, "Perturbations of a Synchronous Satellite", RAND Corporation Rept.No. R-399-NASA, 1962.
9. R.S. Gaylord and W. H. Keller, "Attitude Control System Using Logically Controlled Pulses", Guidance and Control, 8, 1961, p. 629.
10. O.H. Gerlach, "Attitude Stabilization and Control of Earth Satellites", Space Science Rev., 4, 1965, pp. 541-582.
11. Carl Grubin, "Generalized Two-Impulse Scheme for Reorienting a Spin Stabilized Vehicle", Guidance and Control, 8, 1961, p. 649.
12. H.K. Hartbaum, "Station Keeping for Gravity-Gradient-Stabilized Satellites", NASA SP-107, 1965, p. 201.

13. Wilnot N. Hess (Ed.). "Introduction to Space Science", Gordon and Breach Science Publishers, Inc. , New York, 1965.
14. W.R. Kerslake, J. F. Wasserbauer, and P. M. Margosina, "A Mercury Electron-Bombardment Ion Thruster Suitable for Spacecraft Station Keeping and Attitude Control", AIAA Paper 66-247, Fifth Electric Propulsion Conference, San Diego, Calif., 7-9 Mar 1966.
15. J.H. Molitor, "Ion Propulsion System for Stationary-Satellite Control", J. Spacecraft and Rockets, 1, 2, 1964, p. 170.
16. J.H. Molitor and M. H. Kaplan, "Design and Performance of Ion-Engine Systems for Control of Earth Satellites", J. Spacecraft and Rockets, 2, 5, 1965, p. 712.
17. J.H. Molitor and M. H. Kaplan, "Optimization of Ion Engine Control Systems for Synchronous Satellites", J. Spacecraft and Rockets, 1, 5, 1964, p. 557.
18. M.J. Neufeld and B.M. Ansel, "Synchronous Satellite Station Keeping", AIAA Paper no. 66-304, Communications Satellite Systems Conference, Washington, D.C., 2-4 May 1966.
19. H. Patapoff, "Bank Angle Control System for a Spinning Satellite", Guidance and Control, 13, 1963, p. 289.
20. G. Sohl et al, "Cesium Electron Bombardment Ion Microthrusters", AIAA Paper 67-81, Fifth Aerospace Sciences Meeting, New York, 23-25 Janeiro de 1967.
21. J.F. Staggs and W.C. Lathem, "Experimental Performance of a Low-Thrust, Divergent-Flow, Contact-Ionization Electrostatic Thruster", AIAA Paper 66-569, Second Propulsion Joint Specialists Conference, Colorado Springs, Colo. 13-17 Junho de 1966.
22. G.S. Sutherland and M. E. Maes, "A Review of Microrocket Technology 10^{-6} to 1 lb Thrust", AIAA Paper 65-620, Propulsion Joint Specialists Conference, Colorado Springs, Colo., 14-18 Junho 1965.
23. R.S. H. Toms and B. H. Kalensher, "Control of a Synchronous Satellite by Continous Radial Thrust", AIAA J. , 2, 7, Julho 1964, p. 1179.
24. C. A. Wagner, "On the Probable Influence of Higher Order Earth Gravity in the Determination of the Equatorial Ellipticity of the Earth from the Drift of Syncom II over Brasil ", NASA TN D-3314, 1965.
25. F.H. Wainscott, "The Syncom III Launch", NASA TN D-3377, 1966.
26. J. F. Wasserbauer, "A 5-Centimeter-Diameter Electron-Bombardment Thruster with Permanent Magnets", NASA TN D-3628, 1966.
27. P.C. Wheeler, "Two-Pulse Attitude Control of an Asymmetric Spinning Satellite", Guidance and Control, 13, 1963, p. 261.

4.8 LANÇAMENTO E ENTRADA EM ÓRBITA

Foi selecionada uma órbita geoestacionária para permitir a cobertura de solo durante 24 horas por dia com antenas fixas de alto ganho na Terra . A tecnologia do foguete e da órbita está bem desenvolvida, mas cada satélite novo necessita de novas adaptações das informações e dos aparelhos existentes. Várias sequências de colocação em órbita tiveram de ser modificadas para se ajustarem às necessidades de pêso, da órbita e da rotação do satélite SACI.

Com uma carga útil de cerca de 300 kg, o foguete mais econômico para órbita síncrona é o Atlas-SLV3-Agena. Foi adicionado um motor de injeção no apogeu para dar o incremento de velocidade necessário a tornar a órbita circular. O motor escolhido foi o quarto estágio do Scout, FW-45. Suas características são [6] :

E_{sp} -----	284,5 seg
Tempo de queima -----	31,5 seg
Empuxo -----	25.560 N
Pêso total -----	300 kg
Pêso do combustível -----	274 kg
Capacidade de ΔV -----	1830 m/s para os 294 kg do veículo SACI.

As figuras 4-45 e 4-46 mostram a sequência específica, em ordem cronológica, desde o lançamento até a órbita final. O Atlas será lançado do Cabo Kennedy a 28° de latitude Norte. Pouco antes de acabar a queima o cas

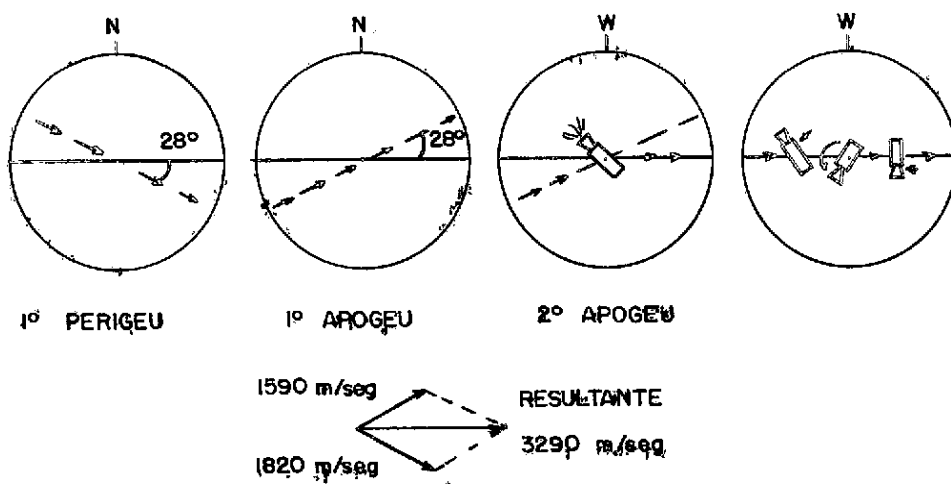


Fig. 4-45. PROCEDIMENTO PARA ORIENTAÇÃO.

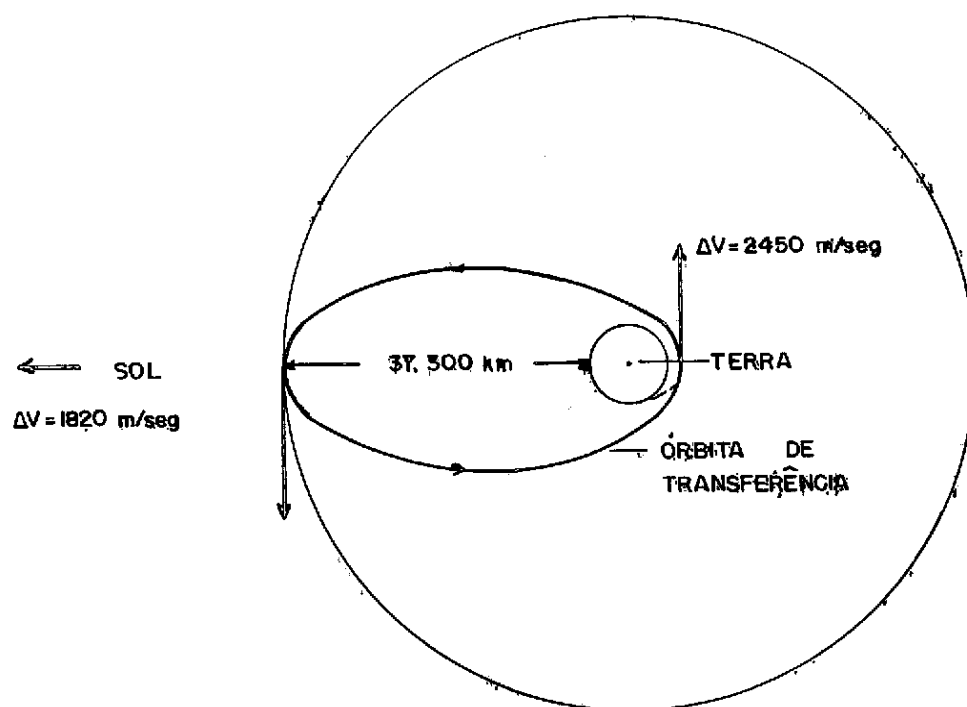


Fig. 4-46. DIAGRAMA DA ÓRBITA DE TRANSFERÊNCIA.

co protetor é ejetado. Após a queima do Atlas, o Agena desliza para uma órbita de 185 km; quando cruza o plano equatorial é colocado numa órbita de transferência por um incremento de velocidade de 2450 m/seg.

Então os motores de empuxo fazem o Agena dar cambalhotas lentas que permitem que as informações dos giroscópios de bordo sejam comparadas com as dos sensores solares. O apogeu da órbita de transferência está previsto para uma altitude de 37.300 km, o que é acima da altura síncrona, para facilitar a aplicação das correções da velocidade [4].

O tempo do percurso do perigue ao apogeu é de 5 horas e 36 minutos. Justamente antes do apogeu o Agena é posicionado para mudar de plano orientando-se a carga útil com um ângulo de 51° em relação à trajetória de voo. A carga útil é então colocada em rotação com 66 rpm pela mesa de rotação do Agena, e em seguida é solta e o estágio de separação é disparado. O incremento de velocidade de 1800 m/seg, fornecido por este estágio, dá a velocidade resultante necessária, de 3020 m/seg no plano equatorial.

Após ter sido disparado o motor de injeção no apogeu, o satélite estará numa órbita circular aproximadamente geostacionária mas com seu vetor rotação inclinado de 23° em relação ao plano orbital e afastado em longitude da sua posição final. O vetor rotação é reorientado de 113° para uma posição normal ao plano da órbita. Então, após terem sido acumulados alguns dados de rastreamento que definam a órbita conseguida, ela é ligeiramente corrigida para que se torne rigorosamente síncrona sobre a longitude desejada. Esta série de manobras é chamada de "fase de aquisição" para distingui-la da fase normal de operação do satélite alcançada quando ele está em posição e com os painéis solares estendidos.

Apesar de se ter decidido usar os motores de íons para controle de

atitude e conservação da posição na operação normal, foi escolhido um sistema monopropelente de hidrazina que funciona até a entrada inicial do satélite em posição pois o sistema de iões foi considerado inadequado para completar as correções de posicionamento dentro de um tempo razoável.

O sistema de hidrazina é basicamente igual aos outros de monopropelente, usados no Syncom da Hughes e na terceira geração de satélites de comunicações da TRW. Serão montados no satélite um motor de 15 N de empuxo radial e outro de empuxo axial. Disparando-se pulsadamente o motor de empuxo axial será possível orientar o eixo de rotação em qualquer direção desejada. Disparando-se continuamente o motor de empuxo axial ou pulsadamente o motor de empuxo radial, poderão ser feitas mudanças de velocidade de translação. Para aumentar a confiabilidade, há um conjunto completo de motores de empuxo de reserva. Considerando um impulso específico de 200 seg, a capacidade total de incremento de velocidade do sistema de hidrazina será de aproximadamente 100 m/seg. O Syncom III usou 80 m/seg durante seu primeiro mês de operação. Depois disso, sua razão de deslocamento era inferior a 0,01 grau/dia. Erros de velocidade da ordem de 30 m/seg são típicos para os padrões de veículos atuais [2].

O estacionamento final do satélite é conseguido usando novamente os jatos de hidrazina. A massa do sistema de hidrazina completo será de 25 kg, 15 dos quais corresponderão ao combustível hidrazina pressurizado por nitrogênio gasoso. Após o posicionamento inicial, que será conseguido depois de aproximadamente uma semana, o combustível de hidrazina restante será expelido, e o sistema de motores de iões iniciará o controle de atitude e das funções de conservação da posição.

Apesar do satélite ter alcançado a orientação orbital correta, a antena e os painéis solares ainda estarão girando em redor do eixo longitudinal do veículo com velocidades angulares muito superiores às de uma revolução por dia e uma revolução por ano. Como o eixo longitudinal do veículo já estará orientado no espaço, o interferômetro estará recebendo o sinal de controle emitido do solo uma vez em cada revolução. Da mesma maneira, o sensor solar dará um sinal de saída em cada revolução. Os parâmetros medidos pelos sensores estarão, pois, variando periodicamente com o tempo com frequência proporcional às velocidades angulares da seção da antena e dos painéis solares. Esses sinais serão medidos com um frequencímetro e a informação obtida será fornecida ao sistema de controle de regime do eixo longitudinal o qual transfere internamente a quantidade de movimento angular do corpo para a parte giratória usando os motores elétricos síncronos. O momento de inércia dessa parte em relação ao eixo de rotação, é cerca de um terço do momento total do satélite, assim a parte giratória alcança uma velocidade de aproximadamente 200 rpm. Quando as velocidades angulares, obtidas por essa transferência de quantidade de movimento, forem suficientemente baixas para que a antena rastreie a Terra e os painéis solares rastreiem o Sol, a saída do frequencímetro será posta de lado para deixar os parâmetros, medidos pelos sensores, alimentarem diretamente o sistema de controle de regime.

PROJETO SACT

Satélite

Avançado de

Comunicações

Interdisciplinares

Parte III:

A - Projeto Estrutural

B - Momentos Perturbadores

C - Controle por Gradiente de Gravidade

D - Controle Longitudinal

E - Controle de Atitude com Pulsos

F - Sensores de Posicionamento

G - Escolha do Tipo de Antena

Relatório Técnico IAFE-75

*PR - Conselho Nacional de Pesquisas
Comissão Nacional de Atividades Espaciais
São José dos Campos - SP*

Maio 68

PROJETO SACI

NOTA

O presente relatório, resultante da fase de pré-projeto, foi dividido em três partes, todas com a mesma introdução. Foi preparado, tomando por base inúmeras referências, mas principalmente o "ASCEND Report" da Universidade de Stanford nos Estados Unidos, pelos seguintes pesquisadores da CNAE:

Dr. F. de Mendonça

Almte. A. S. Franco

Eng. A. Schechtman

Eng. J. E. Guisard Ferraz

Eng. J. Torquato P. de Sousa

Eng. J. Mesquita

São José dos Campos

Maio de 1968

PROJETO SACI

Satélite Avançado de Comunicações Interdisciplinares

INTRODUÇÃO

É ponto pacífico que o presente sistema educacional brasileiro é inadequado, em qualidade e quantidade em todos os níveis, para o desenvolvimento nacional.

A aplicação de capitais através de processos e métodos ortodoxos, para incrementar o sistema existente, além da impossibilidade econômica, muito dificilmente poderia colocar o Brasil na posição desejada nos próximos cinco ou dez anos. Um dos itens mais sérios no contexto deste complexo problema é a formação demorada de bons professores e a impossibilidade de se atingir todos os pontos do país com a mesma qualidade de ensino.

O sistema que aqui propomos não é a solução total, não é simples de ser implementado mas está dentro das possibilidades econômicas e tecnológicas do país. É quase a única solução educacional em países não desenvolvidos de ãreas continentais como é o caso do Brasil. O sistema proposto não se aplica a nações desenvolvidas.

A situação educacional brasileira é pior do que se poderia deduzir dos números apresentados na Tabela I que se segue, pois a nossa população é na maioria constituída de jovens.

TABELA I

(Dados disponíveis mais recentes)

País	População estimada em milhões de habitantes	Educação primária, secundária e vocacional				Educação Universitária				Porcentagem de analfabetos com idade superior a 14 anos
		Professores	Alunos		Professores	Alunos				
			total	Obs. I		total	Obs. I			
Brasil	85	440 000	11 246 000	132	28.000	142 000	2	40%		
Argentina	22	217 000	3 138 000	142	14 000	216 000	10	8.6%		
Japão	98	755 000	21 286 000	220	68 000	964 000	10	Obs II		
U.S.A.	198	2 024 000	59 703 000	250	326 000	4 265 000	22	2.4%		
U.S.S.R.	231	2 571 000	49 926 000	216	206 000	3 608 000	16	1.5%		

Obs. I Número arredondado de alunos por mil habitantes da população total

Obs. II Dado não disponível

Este relatório tem um caráter preliminar pois fôra feito na fase de pré-projeto e servirá como um documento gerador de discussões. É constituído de duas partes; a primeira aborda problemas e conjecturas sobre o uso de satélites em sistemas educacionais e uso e custo de telecomunicações numa nação em desenvolvimento; a segunda parte tem a haver com os sistemas de solo e espacial do projeto. Haverá ainda um apêndice.

Espera-se que este documento sirva de base na decisão da Presidência da República sobre a complementação ou não do sistema proposto.

Um grande número de referências foi consultado, mas a obra que serviu de base a este trabalho foi principalmente o "ASCEND Report" do curso de engenharia de Sistemas Espaciais na Universidade de Stanford nos Estados Unidos. De fato este relatório é uma adaptação. Três pesquisadores da CNAE participaram nos estudos e preparação do "ASCEND Report".

OBJETIVOS

O desenvolvimento de sistemas de telecomunicações educacionais num país como o Brasil é um primeiro passo essencial na constituição de sua infraestrutura. Uma vez que se tenha feito este investimento a produtividade marginal do capital investido nos projetos de industrialização será por demais aumentada. Com isto o país poderá atingir uma posição que lhe permita quebrar o círculo vicioso de pobreza que até o momento lhe sufoca.

Depois de considerarmos várias alternativas, cremos que o projeto aqui proposto oferece a melhor probabilidade de sucesso a uma nação de extensões continentais como a nossa. É verdadeiramente, um passo decisivo nos seus programas educacionais e de telecomunicações.

Os fatores abaixo enumerados indicam a escolha do sistema com satélites para televisão educacional e comunicações como o mais adequado:

No campo educacional:

- a - A televisão permite a disponibilidade dos melhores professores para a maioria da população, mesmo nos mais longínquos recantos do país.
- b - A televisão pode ser usada como fonte de informações e ponto focal para o desenvolvimento da comunidade.
- c - A televisão pode ser usada dentro do quadro do sistema de ensino já existente, se bem que os problemas de reajustes dos professores aos novos métodos não deve ser subestimado.
- d - O satélite é o meio menos dispendioso de atingir o objetivo numa implementação relativamente rápida, da ordem de 5 anos.

No campo das comunicações:

- a - O sistema com satélite é o menos dispendioso dos métodos que permitem atingir qualquer lugar do país, como por exemplo as vilas e destacamentos nas fronteiras.
- b - Em alguns casos é o único meio de se prover comunicações de alta confiabilidade.
- c - O sistema proposto apresenta a solução de mais curto tempo para instalação de comunicações em âmbito nacional.

d - A parte do satélite dedicada a comunicações poderia prover uma razoável fonte de renda.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Educação

O sistema proposto consiste no uso de um satélite de alta potência em órbita síncrona, com 3 canais, transmitindo na faixa de frequências de 4 GHz. Nas áreas urbanas usariamos um receptor e um transmissor central para re-irradiação, em áreas com raio de 70 km. Para as áreas rurais e pequenas vilas ou cidades, os receptores receberiam as informações diretamente do sa télite. Um exame das condições de preço, mostram que em áreas urbanas com 220 mil pessoas ou mais, seria mais conveniente o uso de um receptor-transmis-
sor local para televisões, usando aparelhos convencionais de televisão. Nas outras áreas, como já dissemos, o sinal seria obtido diretamente do satélite.

A estimativa do número de estações receptoras seria da ordem de 152 mil aparelhos receptores diretos, e 12 receptores/transmissores para á reas urbanas. Estes números permitem, a cobertura total da população em ida de escolar. Supõe-se que de início, um dos canais de televisão, será usado exclusivamente para televisão educacional (TVE), isto por um período de 2 a nos. Um segundo canal passaria para uso de TV, depois dēste prazo. Esta li mitação de um canal prende-se ao fato de ser difícil de se produzir adequada quantidade de programas, de boa qualidade. A duplicação de material didā tico importado, sistemas de TV educacional de outros países, seria possível mente uma solução insatisfatória. É possível termos uma injeção maciça de e

ducação por televisão em todas as áreas educacionais, isto é, escolas primárias, secundárias, vocacionais e universidades, incluindo o treinamento e aperfeiçoamento de professores e instrutores nas novas técnicas. A tecnologia existente é certamente capaz de preencher os pré-requisitos, no entanto, o ponto crucial do esquema é o seu conteúdo; o aprendizado será muito mais efetivo se a qualidade do programa, os textos, os impressos, os auxílios audio-visuais de ensino e a comunicação entre planejadores e instrutores nas salas de aulas fôr devidamente estabelecida com bases funcionais.

Processo de ensinamento através de televisão não é meramente uma extensão das aulas normais dadas em salas de aulas. No entanto, este novo meio requer uma orientação completamente diferente dos processos de ensino e aprendizado. As escolas terão que ser ajustadas com as suas experiências passadas ao nôvel modo, e em muitos casos, livros e textos terão que ser re-escritos e distribuídos o que tomará uma quantidade considerável de tempo. O projeto deve ser iniciado em uma escala pequena, e seguido de uma a valiação dos conhecimentos iniciais obtidos. Seria onerosa a introdução de uma estrutura gigante e que logo no início venha a precisar de modificações e ajustes gerais. O sistema proposto tem o seu sucesso dependente nas atitudes do pessoal envolvido e suas limitações iniciais. Treinamentos e orientação dessas pessoas serão fatores limitantes da capacidade operacional do sistema.

No caso de escolas primárias, controladas pelos estados, certamente é de se esperar que haja resistências no início, dificuldades administrativas e outras coisas deste jaez. As escolas federais, controladas curricularmente pelo governo federal talvez a situação já não fôsse tão difícil.

Poderia se pensar também na preparação, nesta fase inicial, de instrutores e elementos de apoio em treinamento para a fase seguinte de estabelecimento de programas mais avançados. Poderia se pensar também nesta fase inicial, do uso de comunicações para instruções à elementos da agricultura, la vradores, elementos de escolas vocacionais, etc. Dentro do período de dois anos, o segundo canal passaria a ser utilizado em meios educacionais. Certa mente, já de início ou antes mesmo de qualquer outra medida poderíamos pen sar em uma escala de prioridades a serem dadas aos usos destes canais. Será necessário um estudo mais acurado destas prioridades, para que haja maior sucesso no programa. Devemos pensar, por exemplo, em educação de adultos, que poderia ser em horário noturno. A educação de adultos poderia ser feita em programas diretos às áreas rurais. Poderiam haver programas sobre atos cívicos, educação, escolas vocacionais ou técnicas, isto tudo dependeria de prioridade a ser estudada na primeira fase de implementação do projeto.

Comunicações

O satélite proposto teria um canal com a largura de faixa de 200 MHz permanentemente designado para uso de comunicações. A capacidade deste canal é da ordem de 3 mil sub-canais de fonia. O uso primário deste canal seria provêr comunicações telefônicas de boa qualidade e alta confiabilidade entre pontos grandemente afastados. Considerando os processos normais de taxaço telefônica, que sempre dependem de distância envolvida entre os dois assinantes, aqui teríamos um caso em que a distância não faria diferença praticamente no preço da comunicação entre os dois terminais.

Durante os dois primeiros anos em que teríamos somente um canal em televisão educacional, poderíamos usar o segundo canal para comunicações de distância menores.

Espera-se que um sistema de televisão educacional através de canais de micro-ondas, na superfície seja estabelecido neste interim de dois anos iniciais, ou mesmo antes da implementação dos dois anos de utilização de satélites para provêr a experiência adequada ao planejamento da utilização de televisão educacional através do satélite.

Durante as horas noturnas, isto é, de meia noite às 8 horas da manhã, certamente não haveria demanda para comunicações telefônicas, ou uso de televisão educacional, fazendo nascer daí uma fonte de renda em se utilizando estes horários para transmissão de dados, de redes bancárias, por exemplo, ou distribuição de canais de televisão comercial para re-irradiação posterior, serviço fac-símile, serviço de telegramas normais, telegramas es ses acumulados nos horários diurnos em fita magnética. Outros exemplos se riam comunicações sobre meteorologia, comunicações militares com os postos de fronteiras, etc. Com aproximadamente mil terminais de comunicação tere mos uma cobertura de todas as cidades ou vilas com mais de três mil habitan tes, além dos sistemas múltiplos das áreas urbanas.

Estima-se que a renda adicional provinda do serviço telefônico da ria da ordem de cinquenta milhões de cruzeiros novos por ano líquido dos cus tos de operação, depreciação, manutenção e etc. Além de telefonia outros serviços contribuiriam para a renda.

EQUIPAMENTO NO SOLO

Broadcast Direto

O principal objetivo do sistema é a transmissão de programa de televisão educacional via satélite para a maioria da população. Do que fôra dito anteriormente, conclui-se que o objetivo sô poderia ser atingido com a utilização de irradiação direta (via satélite de alta potência) às estações de baixo custo, incluindo estações centrais de re-irradiação, para a aparelhos comuns de televisão em áreas urbanas. Estudos econômicos mostram que o custo mínimo do sistema proposto seria atingido se houvesse transmissão direta para 77 a 86% da população. Esta conclusão põe uma forte ênfase na minimização do custo da irradiação direta para receptores afastados das grandes áreas urbanas.

Devido às limitações práticas da geração de potência elétrica, num satélite em órbita, limitações estas que são atuais mas que poderão ser superadas na tecnologia de um futuro próximo, teremos que usar a modulação FM para o link satélite-Terra. Este tipo de modulação é incompatível com a televisão padronizada no Brasil; daí ser necessário um conversor-adaptador de modulação FM em AM antes do receptor regular de televisão. Problemas semelhantes são abordados em relatórios internos da CNAE.

Para as comunidades rurais, onde não existe potência elétrica uma variedade de tipos de fontes de potência foi considerada. Elas são classificadas em duas alternativas de acordo com seu custo. As alternativas mais

convenientes são: catavento com gerador, para certas regiões onde o vento sopra constantemente, como é o caso do nordeste brasileiro, ou motor-gerador a gasolina ou diesel. Haveria mesmo a possibilidade de se usar uma combinação gerador-motor movido a potência animal. O custo de uma fonte de potência para áreas remotas, fica entre 700 e 1.500 cruzeiros novos.

Comunicações

O segundo objetivo foi desenhar um sistema de comunicações bilaterais. No começo da vida do satélite, como já foi mencionado somente um canal de televisão seria necessário. Durante o período que vai da meia noite às oito horas da manhã, nenhum dos canais de televisão seriam usados. O satélite terá potência para três canais, independentes, transmitindo com 350 watts em cada.

Assim sendo durante o dia um ou dois terços da capacidade do satélite estarão disponíveis para comunicações, transmissões de dados, fac-símile ou redistribuição de programação comercial. Durante a noite 100% do satélite será usado para este propósito.

A fim de que se possa fazer um uso eficiente desta capacidade, um sistema de comunicações versáteis e de múltiplos propósitos será construído no satélite. Várias alternativas foram estudadas e foi necessário se prover um meio de se transmitir vários canais de baixa potência com portadoras moduladas em frequência em vez de um simples canal, de alta potência para transmissão de televisão. A capacidade total do satélite é de aproximadamente 9.000 canais telefônicos em um sentido. O link de recepção para as comu

nicacões será mais sofisticado do que o de recepção usado para a televisão educacional. Uma antena maior, talvez da ordem de 9 metros de diâmetro se rã usada com um amplificador paramétrico e um demodulador de fase locada. O sinal demodulado formará um canal de distribuição de televisão ou 600 canais telefônicos.

Telemetria e Contrôlo

Os sistemas de telemetria e controle proverão a observação contínua dos vários parâmetros de controle do satélite e as capacidades de co mando a partir da estação no solo para várias manobras.

A potência necessária no satélite para fins de telemetria será de 1 watt de potência irradiada na frequência de 136 MHz com a faixa de passa gem de aproximadamente 10 KHz. Uma antena onidirecional de 1/4 de onda se rã usada no satélite para este fim.

Pré-requisitos da Missão do Satélite

O satélite SACT deverá ser capaz de irradiar suficiente potência a fim de permitir a cobertura total do Brasil e de alguns outros países da A mérica Latina com imagens de boa qualidade em equipamento de baixo custo no solo. É necessário que o satélite tenha a capacidade de dois canais de tele visão educacional. Além disso precisa provêr comunicações bilaterais porque a renda deste serviço auxiliaria o financiamento do sistema.

O satélite seria pôsto em órbita equatorial síncrona e operaria com vida útil confiável de cinco anos. A data de lançamento poderá ser dentro de

cinco anos depois da decisão governamental.

O satélite transmitirá em FM para os sinais de TVE e comunicações bilaterais na faixa de frequência de 3.7 a 4.2 MHz por exemplo. Capacidade de múltiplo acesso será também incluída. As técnicas serão descritas no relatório da CNAE.

Alguns componentes a serem usados no satélite ainda não existem presentemente. Um dos objetivos do grupo de engenheiros do projeto será a determinação de áreas específicas onde precisamos envidar esforços de desenvolvimento em futuro próximo para que haja mais uma contribuição tecnológica para a nação.

O desenho de estruturas do satélite poderá ser feito em um prazo de poucos meses.

Os desenhos das unidades de transmissão e recepção deverão prover que o sistema no solo é tal que a potência efetiva irradiada seja de 55 dbw por canal.

O sistema transmissor deverá ser flexível e permitir operação com qualquer grau de liberdade nos dois modos; canal com TVE e canal com grande tráfego de comunicações. A alocação básica destes modos é função da hora local e das necessidades de operação. Por exemplo, dois canais de TVE e 3.000 canais de fonia durante o dia ou durante a noite com um canal de TVE e 6.000 canais ou ainda 9.000 de telefonia.

Haverá eclipse do satélite durante um mês por ano em um período de 0 a 69 minutos na meia noite local.

Finalizando, o relatório que se segue apresenta um sistema que certamente muito contribuiria para o desenvolvimento do Brasil. É possível em vista de considerações econômicas que não haja alternativa.

A CNAE se estrutura presentemente para poder executar esta missão. Torna-se imprescindível que em futuro próximo seja formado um grupo assessor do projeto, com representantes do Ministério da Educação, de órgão do Ministério de Comunicações tais como CONTEL e EMBRATEL e do Ministério do Planejamento e Coordenação Econômica.

ÍNDICE GERAL

PARTE I

	<u>Página</u>
CAPÍTULO I: SUMÁRIO	1-1
1.1 INTRODUÇÃO	1-1
1.2 BASES PARA UM SISTEMA DE COMUNICAÇÃO E TELEVISÃO EDUCACIONAL (TVE) POR MEIO DE SATÉLITES.....	1-2
1.2.1 Educação	1-3
1.2.2 Comunicação	1-4
1.3 DESCRIÇÃO DO SISTEMA	1-5
1.4 CONDIÇÕES E RECOMENDAÇÕES	1-6
1.4.1 Considerações Gerais	1-7
1.5 PROJETO DO EQUIPAMENTO PESADO	1-8
1.5.1 Considerações Gerais	1-8
1.5.2 Receptor de Terra	1-11
1.5.3 Projeto do Satélite	1-13
1.6 CUSTO DO SISTEMA	1-18
 CAPÍTULO II: USOS E CUSTOS DE TELECOMUNICAÇÕES PARA NAÇÕES EM DE- SENVOLVIMENTO.....	 2-1
2.1 INTRODUÇÃO	2-1
2.2 INTRODUÇÃO À EDUCAÇÃO E AO SISTEMA DE TVE POR SATÉLITE	2-3
2.2.1 Integração nos Sistemas Educacionais Existentes	2-3

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
2.2.2 TVE em Diferentes Níveis Educacionais	2-17
2.2.3 Televisão Educacional no Planejamento Nacional	2-25
2.2.4 Potencial da Televisão para Educação e Desenvolvimento no Brasil	2-32
2.2.5 Elaboração dos Programas	2-47
2.2.6 Análise de Custo para o Sistema Educativo	2-61
2.3 USOS COMERCIAIS DOS CANAIS DE COMUNICAÇÃO	2-90
2.3.1 Introdução	2-90
2.3.2 Comunicações no Brasil	2-92
2.3.3 Custos de Componentes do Sistema	2-105
2.3.4 Custos dos Sistemas Alternativos	2-107
2.4 IMPLICAÇÕES LEGAIS INTERNACIONAIS	2-110
2.4.1 Necessidades dos Satélites de Comunicações	2-110
2.4.2 A ITU	2-111
2.4.3 Pesquisa	2-117
2.4.4 Seleção de Frequências	2-120
2.5 FINANCIAMENTO PARA O SISTEMA	2-126
2.5.1 Divisas	2-126
2.5.2 Posições de Liquidez	2-127
2.5.3 Intelsat	2-132
2.5.4 Ajuda	2-138
2.5.5 Propostas Financeiras	2-142

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE II

	<u>Página</u>
CAPÍTULO III: SISTEMA TERRESTRE	3-1
3.1 INTRODUÇÃO	3-1
3.1.1 Sistema de TVE	3-1
3.1.2 Sistema de Comunicações	3-6
3.2 SINAIS E POTÊNCIA DE RF	3-7
3.2.1 Faixa Ótima de Frequência	3-7
3.2.2 Largura de Faixa	3-11
3.2.3 Métodos de Modulação	3-11
3.2.4 Distribuição de Potência	3-15
3.3 ANTENAS NO SOLO	3-28
3.3.1 Materiais e Técnicas de Produção	3-28
3.3.2 Projeto da Antena de TVE e Alimentação	3-40
3.4 PROJETO ELETRÔNICO DO CONVERSOR DE BAIXO CUSTO	3-49
3.4.1 Misturador	3-50
3.4.2 Oscilador Local	3-57
3.4.3 Amplificador de FI	3-60
3.4.4 Discriminador de Faixa Larga	3-75
3.5 FONTES DE ENERGIA NO SOLO	3-87
3.5.1 Necessidades de Potência	3-87
3.5.2 Métodos de Produção de Energia no Solo	3-88
3.5.3 Sumário	3-93

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
CAPÍTULO IV: PROJETO DO SATÉLITE	4-1
4.1 CONFIGURAÇÃO DO SATÉLITE	4-1
4.1.1 Introdução	4-1
4.1.2 Pêso do Satélite	4-2
4.1.3 Distribuição de Massa do Satélite e Momento de Inércia	4-3
4.1.4 Materiais Estruturais do Satélite	4-3
4.1.5 Projeto da Estrutura do Satélite	4-11
4.2 SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES	4-15
4.2.1 Sinais	4-15
4.2.2 Níveis de Potência e Limitações Resultantes	4-16
4.2.3 Escolha da Válvula de Potência de Micro-ondas	4-17
4.2.4 Escolha da Configuração do Sistema de Comunicações ..	4-22
4.2.5 Maneira de Operação	4-30
4.3 SISTEMA DE ANTENA E DE ALIMENTAÇÃO	4-34
4.3.1 Avaliação dos Requisitos de Iluminação	4-34
4.3.2 Antena Receptora-Transmissora	4-36
4.3.3 Sistema Sensor de Atitude	4-43
4.3.4. Antena de Telemetria e Comando	4-46
4.3.5 Vista Geral do Sistema	4-48
4.3.6 Período de Desenvolvimento e Planos Futuros	4-52
4.4 FONTE DE ENERGIA DO SATÉLITE	4-53
4.4.1 Projeto Proposto: Paine Solar	4-54
4.4.2 Condicionamento de Potência	4-59

ÍNDICE GERAL (Cont.)

	<u>Página</u>
4.4.3 Subsistema Secundário da Energia Solar	4-61
4.4.4 Conclusão	4-62
4.5 PROJETO E CONTRÔLE TÉRMICO	4-63
4.5.1 Projeto Térmico Geral	4-63
4.5.2 Seção Superior	4-65
4.5.3 Cálculos Térmicos	4-76
4.5.4 Seção Inferior	4-80
4.5.5 Análise de Temperatura das Células Solares	4-85
4.6 TELEMETRIA E CONTRÔLE	4-88
4.6.1 Necessidades Gerais	4-88
4.6.2 Implementação do Sistema de Telemetria e de Comando.	4-89
4.7 CONTRÔLE DA NAVE ESPACIAL	4-92
4.7.1 Necessidades do Sistema	4-92
4.7.2 Contrôlo de Atitude ao Redor do Eixo Longitudinal ..	4-95
4.7.3 Velocidade de Rotação da Seção Inferior	4-96
4.7.4 Contrôlo de Atitude em Relação aos Eixos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-98
4.7.5 Conservação da Posição	4-106
4.8 LANÇAMENTO E ENTRADA EM ÓRBITA	4-112

ÍNDICE GERAL (Cont.)

PARTE III

Página

APÊNDICES:

A.	Projeto Estrutural	A-1
B.	Momentos Perturbadores que agem sobre o Satélite	B-1
C.	Contrôle por Gradiente da Gravidade	C-1
D.	Projeto do Sistema de Contrôle do Eixo Longitudinal	D-1
E.	Contrôle de Atitude com Dois Pulsos	E-1
F.	Sensores de Infra-vermelho para Posicionamento	F-1
G.	Antenas	G-1

LISTA DE TABELAS

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Número Estimado de Postos Receptores.....	1-6
1-2	Custos de Investimento de Capital	1-18
1-3	Custos de Operação	1-19
2-1	<i>Situação</i> Econômica Brasileira	2-34
2-2	Crescimento do Sistema Educacional Brasileiro	2-35
2-3	Canal Nº 1 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-52
2-4	Canal Nº 2 TVE - Esquema Hipotético da Programação para o 3º Ano de Operação	2-53
2-5	Custos de Transmissão e Produção para o Curso Secundário por Correspondência da NHK (Japão) 1964	2-55
2-6	Organograma da Estação	2-59
2-7	Custo de Pessoal	2-60
2-8	Modelo de Custo	2-63
2-9	Divisão Completa do Modelo de Custo	2-64
2-10	Custo de Pesquisa e Desenvolvimento do Satélite	2-67
2-11	Custo de Produção do Satélite	2-69
2-12	Pesquisa e Desenvolvimento dos Receptores Diretos	2-69
2-13	Custo de Produção dos Receptores Diretos	2-69
2-14	Custo do Conversor de Micro-ondas	2-71
2-15	Custo do Sistema SACI	2-75
2-16a	Parâmetros de Entrada	2-76
2-16b	Modelo de Custo do Sistema de TVE	2-77
2-16c	Modelo de Custo do Sistema de TVE (Continuação)	2-78

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
2-17	Implementação até 1980	2-81
2-18	Distribuição Proporcional dos Custos do Projeto SACI durante um Período de Dez Anos	2-84
2-19	Volume de Comunicações Internacionais no Brasil em 1965...	2-92
2-20	Necessidades de Divisas Estrangeiras no Custo Total do Sistema	2-128
2-21	Desembolso durante os Dez Anos de Implementação	2-129
2-22	Liquidez Internacional e Balança de Pagamento	2-131
3-1	Sistema de Recepção Direta	3-5
3-2	Necessidades de Potência para a Ligação Satélite-Terra para a TVE	3-18
3-3	Necessidade em Potência para a Ligação Satélite-Terra para Comunicações	3-22
3-4	Requisitos em Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão SSB)	3-24
3-5	Necessidades de Potência para a Ligação Terra-Satélite (Transmissão em FM)	3-25
3-6	Custos Estimados de Três Antenas	3-37
3-7	Parâmetros do Projeto	3-48
3-8	Características do Amplificador de FI	3-60
3-9	Custos Estimados dos Componentes e Unidades	3-74
3-10	Amplitude de Voltagem nas Entradas do Discriminador	3-78
4-1	Distribuição do Pêso do Satélite	4-8
4-2	Dados de Momento de Inércia e Centro de Gravidade para o Satélite SACI	4-9
4-3	Propriedades dos Materiais	4-10

LISTA DE TABELAS (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-4	Parâmetros da Válvula	4-19
4-5	Frequências do Oscilador Local na Ligação Satélite-Terra para o Módulo 1 do Receptor	4-31
4-6	Larguras de Feixe Corrigidas, Diâmetros da Abertura e Máximo Ganho Teórico	4-42
4-7	Perda Total Estimada da Saída do Amplificador a TWT para o Sinal Irrradiado	4-43
4-8	Principais Requisitos de Potência	4-54
4-9	Distribuição da Potência (em Watts) a ser irradiada pelos Tubos Contínuos de Calor nas Diferentes Condições de Trabalho	4-81
4-10	Propriedades Térmicas do Substrato LASCA.....	4-85

ILUSTRAÇÕES

<u>Número</u>		<u>Página</u>
1-1	Espectro de Frequência para Comunicações	1-10
1-2	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	1-12
1-3	Vista Geral do Satélite	1-16
2-1	Realimentação para Implementação	2-13
2-2	Taxa de Instalação do Sistema	2-74
2-3	Custo de Operação Anual x Número Total de Receptores (2 canais de TVE)	2-79
2-4	Ruído de Fundo em Função da Frequência	2-121
3-1	Diagrama de Blocos do Adaptador de Micro-Ondas	3-4
3-2	Ruído Devido à Absorção Ionosférica	3-9
3-3	Custo Unitário dos Sistemas Receptores em Função da Frequência. Ruído Indígena Máximo	3-13
3-4	Alocações Espectrais para TVE e Comunicações	3-16
3-5	Qualidade de Imagem em Função da Relação Sinal-Ruído ..	3-19
3-6	Redução do Ruído de Intermodulação como Função do "Backoff" da Saturação	3-21
3-7	Curvas com Relação Portadora/Ruído Total Constante como Função das Relações Portadora/Intermodulação e Portadora/Ruído Térmico	3-21
3-8a	Corte do Refletor Plástico	3-31
3-8b	Antena com Alimentação Tipo Newtoniana	3-32
3-9	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 10 Antenas por Hora	3-35
3-10	Custo de Estampagem em Função do Número de Antenas para uma Velocidade de Produção de 60 Antenas por Hora	3-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-11	Pêso do Refletor em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-12	Custo do Material em Função do Diâmetro da Antena	3-36
3-13	Custo do Refletor em Função do Número de Antenas	3-38
3-14	Diâmetro da Antena em Função do Número de Antenas	3-38
3-15	Número de Antenas Versus Pêso Total	3-39
3-16	Número de Antenas Versus Tempo Total de Produção	3-39
3-17	Geometria do Refletor da Antena	3-42
3-18	Alimentação Cassegrainiana	3-44
3-19	Alimentação Newtoniana	3-46
3-20	Relação de Temperatura em Função de Frequência	3-51
3-21a	Detalhes da Cavidade Misturadora de Micro-Ondas	3-53
3-21b	Vista da Cavidade Misturadora	3-54
3-21c	Cavidade do Guia de Onda Misturador e o Discriminador ..	3-55
3-22	Esquema do Oscilador e do Multiplicador de Frequência ..	3-59
3-23	Diagrama de Bloco do Amplificador de FI	3-61
3-24	Espectro de Frequências em Micro-Ondas e FI	3-61
3-25	Diagrama Esquemático do Prê-Amplificador de Baixo Ruído.	3-64
3-26	Fator de Ruído do Prê-Amplificador-Misturador em Função de Fatos de Ruído do Prê-Amplificador de FI	3-65
3-27	Curvas de FR = 3db Constante para Amplificadores em Cas_ cata	3-66
3-28	Diagrama Esquemático do Amplificador FI de Canal Simples	3-70
3-29	Diagrama Esquemático do Circuito Integrado CA 3005	3-70
3-30	Circuito Típico de CAG	3-71

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
3-31	Variação do Preço do Circuito Integrado MC 1550G	3-71
3-32	Preço de Venda Média da Indústria Mundial	3-72
3-33	Circuito Limitador Típico	3-75
3-34	Desenho do Discriminador de "4 Entradas"	3-77
3-35	Esquema do Conector de 4 Entradas (a) e Diagrama de Fase da Voltagem no Detetor (b)	3-77
3-36	Voltagem de Saída do Detetor Quadrático como Função da Frequência (Normalizada); Mostrando as Possíveis Regiões de Operação	3-79
3-37	Tempo de Atrazo, Amplitude e Linearidade em Função de $f_c / \Delta f$ e de f_c para $\Delta f = 30$ MHz	3-81
3-38	Esquema de um Possível Detector	3-83
3-39	Gerador a Vento	3-90
3-40	Motor Gerador	3-91
4-1	Vista Geral do Satélite	4-4
4-2	Seção Superior do Satélite	4-5(6)
4-3	Seção Inferior do Satélite	4-7
4-4	Vista Geral do Satélite	4-14
4-5	Relação entre as Eficiências	4-23
4-6	Diagrama de Bloco do Sistema de Comunicações	4-25
4-7	Diagrama de Bloco para o Caminho do Sinal em um dos Canais de MHz	4-26
4-8	Diagrama de Bloco Alternativo para o Caminho de Sinal para um Canal de 30 MHz	4-27
4-9	Distribuição dos Canais do Receptor 1	4-31
4-10	Plano de Iluminação para o Brasil	4-35

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-11	Sistema da Antena Receptora-Transmissora	4-37
4-12	Posições de Elevação da Antena	4-38
4-13	Refletor Hiperbólico Função da Frequência	4-40
4-14	Um Combinador Híbrido Compacto com Baixa Perda por In- serção Constituído por Vários Filtros Passa-Faixas em Paralelo por Seção	4-44
4-15	Possíveis Configurações da Coneta de Alimentação	4-45
4-16	Sistema de Monopulso de Fase	4-47
4-17	Sistema Sensor de Atitude	4-48
4-18	Sistema da Antena de Telemetria	4-49
4-19	Sistema Completo da Antena	4-50
4-20	Sistema de Antenas e de Alimentação e sua Relação com o Total do Sistema	4-51
4-21	Vista Lateral do Painel Flexível Distendido	4-56
4-22	Vista do Tópo do Painel Flexível Distendido	4-57
4-23	Unidade Conversora DC-DC	4-60
4-24	Condicionamento da Energia	4-61
4-25	Operação do Tubo de Calor	4-68
4-26	Taxas Teóricas Máximas de Transferência de Calor para Tubo Cilíndrico	4-69
4-27	Válvula de Potência de Vídeo.....	4-71
4-28	Válvula de Potência de Comunicação	4-71
4-29	Projeto Térmico da Seção Superior	4-74
4-30	Espessura da Fôlha de Alumínio como Função do Produto Área da Superfície x Tempo de Vida Requerido, para Vã- rias Probabilidades de Nenhuma Picada de Meteoróide	4-75

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
4-31	Temperaturas no Estado Quiescente Durante a Noite e o Dia Terrestres.....	4-78
4-32	Comportamento Transitório de Temperatura para Eficiências da Válvula de Comunicação	4-80
4-33	Operação das Persianas	4-84
4-34	Diagrama de Bloco do Sistema de Telemetria	4-91
4-35	Diagrama de Blocos do Sistema de Comando	4-92
4-36	Massa do Sistema em Função do Tempo de Operação	4-95
4-37	Configuração para os Sensores de Tempo e Jatos	4-99
4-38	Correção de Alinhamento por Dois Pulsos	4-100
4-39	Definição dos Ângulos de Inclinação Lateral e de Guinada	4-101
4-40	Saída dos Sensores de Horizonte	4-102
4-41	Transformação do Erro	4-102
4-42	Sistema de Contrôlo de Velocidade de Rotação	4-103
4-43	Sistema de Contrôlo de Atitude para o Satélite SACI	4-105
4-44	Localização dos Jatos e dos Sensores	4-107
4-45	Procedimento para Orientação	4-113
4-46	Diagrama da Órbita de Transferência	4-114
B-1	Sistema de Referência Ligado ao Corpo do Satélite	B-3
C-1	Modelo Simplificado de Gradiente de Gravidade	C-1
D-1	Diagrama do Satélite Ilustrando os Momentos de Inércia em relação ao Eixo Principal	D-4
D-2	Circuito Elétrico Equivalente para o Satélite	D-5

ILUSTRAÇÕES (Cont.)

<u>Número</u>		<u>Página</u>
D-3	Geometria (a) do Erro de Posição da Antena e (b) do Erro de Posição dos Painéis Solares	D-9
D-4	Diagrama de Blocos do Sistema de Contrôlo do Pannel Solar e da Antena	D-13
F-1	Radiação Térmica Direta e Radiação Solar Refletida Difusamente	F-3
F-2	Efeito dos Filtros de Germânio usados para deixar passar a Radiação Direta emitida pela Terra e para Bloquear a Radiação Solar não Desejável	F-3
G-1	Relação de Ganho para a Antena Corneta	G-2
G-2	Ganho de uma Antena Parabólica em Função do Diâmetro	G-6
G-3	Efeito dos Erros Randômicos devido às Tolerâncias do Acabamento da Superfície	G-7
G-4	Efeito da Deflexão da Antena no Ganho	G-8
G-5	Eficiência Versus Iluminação da Borda do Refletor	G-11

Apêndice A

PROJETO ESTRUTURAL

A análise estrutural de elementos escolhidos do satélite SACT é desenvolvida neste apêndice. Uma análise completa foge do escopo do presente trabalho, mas o estudo feito é suficiente para o projeto das partes principais da estrutura e para uma estimativa de peso do satélite. Todas as fórmulas utilizadas foram extraídas de notas de aulas sobre análise de estrutura de foguetes e espaçonaves ministradas pelo Dr. Jean Mayers da Universidade de Stanford.

Durante o lançamento, o peso da seção superior do satélite é suportado por uma pequena viga ligada aos rolos do painel solar. Ela é analisada como uma viga carregada axialmente e repousando sobre uma fundação elástica.

A fórmula geral do equilíbrio no instante da flambagem é

$$EI A_n \left(\frac{n\pi}{L} \right)^4 + \beta A_n = P \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 A_n$$

onde:

EI = módulo de rigidez da viga

A_n = amplitude de deflexão na flambagem

n = número de encurvamentos para o caso de extremidades articuladas

L = comprimento da viga

β = rigidez da fundação

P = carga na extremidade da viga

Fatorando, teremos:

$$A_n \left[EI \left(\frac{n\pi}{L} \right)^4 + \beta - P \left(\frac{n\pi}{L} \right)^2 \right] = 0$$

Para A_n ter valor finito é necessário que

$$P = \frac{EI (n\pi/L)^4 + \beta}{(n\pi/L)^2}$$

Seja: $\alpha^2 = (n\pi/L)^2$; então $P = (EI\alpha^2 + \beta)/\alpha$.

Para achar a menor carga que causa flambagem faz-se, $dP/d\alpha = 0$, isto é:

$$\frac{dP}{d\alpha} = \frac{\alpha(EI 2\alpha) - (EI\alpha^2 + \beta)}{\alpha^2} = 0$$

$$EI\alpha^2 = \beta$$

Portanto,

$$P_{cr} = \frac{\beta + \beta}{\sqrt{\beta/EI}} = 2\sqrt{\beta EI}$$

A rigidez da fundação é uma combinação da rigidez de curvatura da sua seção transversal mais a rigidez da dita fundação como viga simplesmente apoiada. A deflexão máxima y para uma carga de 1 lb/pol é:

$$\delta y = \frac{5}{384} \frac{qL^4}{EI_1} + \frac{qR^3}{D} \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{\pi} \right)$$

para

$$L = 24 \text{ in.}$$

$$t = 0,1 \text{ in.}$$

$$R = 6 \text{ in.}$$

$$y = \frac{5}{384} \frac{L^4}{E\pi R^3 t} + \frac{12(1 - \nu^2)R^3}{Et^3} \left(\frac{\pi}{8} - \frac{1}{\pi} \right)$$

$$= 63 \times 10^{-8} + 173 \times 10^{-4} \text{ in}^2/\text{lb}$$

ou

$$\beta = \frac{1}{y} = 57,8 \text{ lb/in}^2$$

A viga de suporte de alumínio tem uma seção transversal de 0,5 polegadas e $I = 0,125 \text{ in}^4$;

$$P_{cr} = 2\sqrt{\beta EI} = 1,69 \times 10^4 \text{ lb}$$

$$\sigma_{cr} = 33.800 \text{ lb/in}^2 < \sigma_{cy} (64.000 \text{ lb/in}^2)$$

As cargas máximas encontradas ocorrem durante a impulsão (22,5 g longitudinal e 9 g lateral); assim

$$P = \frac{470}{2} \times 22,5 + 265 \times 9 \times \frac{20}{36}$$

$$= 5300 + 1330 = 6630 \text{ lb}$$

de modo que a margem de segurança é:

$$(MS)_{\text{flambagem}} = \frac{16900}{6630} - 1 = 1,55$$

O invólucro da seção superior consiste de 10 tubos ocos unidos com solda de modo a formar uma construção em "sanduiche". Os componentes do interior são montados sobre este invólucro. Para flambagem local, a seguinte equação de equilíbrio se aplica:

$$EI \frac{d^4 \omega}{dx^4} + \frac{E 2t_f}{R^2} \omega + P \frac{d^2 \omega}{dx^2} + \frac{M}{L} \delta \left(x - \frac{L}{2} \right) = 0$$

Usando a integral de Galerkin e admitindo uma deflexão da forma

$\omega = A \sin (\pi x/L)$, vem:

$$\int_0^L \left[EI_f A \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 \sin \left(\frac{\pi x}{L} \right) + \frac{E 2t_f}{R^2} A \sin \left(\frac{\pi x}{L} \right) - \right. \\ \left. - P \left(\frac{\pi}{L} \right) \sin \left(\frac{\pi x}{L} \right) + \frac{M \delta}{L} \left(x - \frac{L}{2} \right) \right] \sin \left(\frac{\pi x}{L} \right) dx = 0$$

O resultado da integral, depois de feitas as simplificações é:

$$A \left[EI_f \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 + \frac{2t_f}{R^2} E - P \left(\frac{\pi}{L} \right)^2 \right] + \frac{2M}{L^2} = 0$$

e

$$A = \frac{- 2M/L^2}{EI_f \left(\frac{\pi}{L} \right)^4 + \frac{2t_f}{R^2} E - P \left(\frac{\pi}{L} \right)^2}$$

onde

- A = deflexão
M = momento causador da deflexão
L = comprimento (20 polegadas)
E = módulo de elasticidade (28×10^6 psi, liga Be-Al)
 I_f = momento de inércia da seção transversal do sanduiche
($t_f \times h^2/2 = 0,00625$)
h = espessura do sandwich (0,5 in.)
 t_f = espessura do revestimento (0,05 in.)
R = raio de curvatura (18 polegadas)
P = carga axial

A flambagem ocorre quando o denominador se reduz a zero, o que dá:

$$P_{cr} = \frac{EI_f \left(\frac{\pi}{L}\right)^4 + \frac{2t_f}{R^2} E}{\left(\frac{\pi}{L}\right)^2} \geq 300.000 \text{ lb}$$

Em consequência esta seção não flamba localmente. Para uma carga de $P = 400 \text{ lb}$ e $M = 4000 \text{ in.-lb}$, a deflexão pode ser calculada pela fórmula anteriormente derivada, isto é ,

$$A = \frac{-2 \times 4000}{(20)^2} \times \frac{1}{8600 - \pi^2} = \frac{2}{860} = 0,0023 \text{ in.}$$

que está bem dentro dos limites aceitáveis.

As chapas delgadas que conectam o invólucro superior ao eixo podem ser verificadas quanto à flambagem utilizando-se a fórmula clássica:

$$\sigma_{cr} = KE \left(\frac{t}{b} \right)^2$$

onde

σ_{cr} = tensão crítica = tensão de flambagem

K = coeficiente de flambagem (função da carga e das condições de contorno)

E = módulo de elasticidade (42×10^6 psi)

t = espessura da chapa (0,05 in.)

b = largura da chapa (14 in.)

K atinge um mínimo absoluto de 5,35 para o caso das bordas simplesmente apoiadas e $L/B \rightarrow \infty$. Portanto, uma estimativa conservadora é

$$\sigma_{cr} = 5,35 \times 42 \times 10^6 \left(\frac{0,05}{14} \right)^2 = 2860 \text{ lb/in}^2$$

O carregamento máximo consistiria do peso da seção superior inteira multiplicado pelo fator de carga devido à aceleração da impulsão. Assim,

$$P = \frac{265}{6} \times 22,5 \text{ lb}$$

$$\sigma = \frac{P}{0,05 \times 14} = 1420 \text{ lb/in}^2$$

$$MS = \frac{2860}{1420} - 1 = 1,02$$

Os painéis laterais da seção inferior podem ser analisados da mesma maneira. O peso do satélite aplica esforços de cisalhamento no centro de cada painel através dos braços rígidos dos painéis solares e é suportado por estruturas nos cantos inferiores. Portanto, o painel pode ser dividido ao meio e analisado para um esforço de cisalhamento de $P = 6630/2 = 3315 \text{ lb.}$ Para determinar a margem de segurança neste caso, deve-se resolver o seguinte:

Para o material em sanduiche

$$\sigma_{cr} = \frac{2E (h/b)^2 \pi^2}{(1-\nu^2) (1+\alpha_s)^2}$$

onde

σ_{cr} = tensão de flambagem

h = espessura do sanduiche (0,5 in.)

b = largura do painel (24 in.)

E = módulo de elasticidade ($3,6 \times 10^6 \text{ psi}$)

ν = relação de Poisson

α_s = fator de redução do cisalhamento transversal

$$\begin{aligned} \alpha_s &= \frac{D_s \pi^2}{D_0 b^2} = \frac{E_s 2t_s h^2 \pi^2}{G_c h b^2 2(1-\nu^2)} \\ &= \frac{\pi^2}{(1-\nu^2)} \frac{E_s}{G_c} \left(\frac{t_s h}{b^2} \right) \end{aligned}$$

$$= \frac{\pi^2 \times 3,6 \times 10^6 \times 0,05 \times 0,5}{2000 \times (24)^2}$$

$$= 0,78$$

Portanto

$$\sigma_{cr} = 2 \times 3,6 \times 10^6 \left(\frac{0,5}{24} \right) \frac{\pi^2}{(1,78)^2}$$

$$= 9800 \text{ psi}$$

e

$$P_{cr} = \sigma_{cr} (2t_s) b = 9800 (0,1) 24 = 23.600 \text{ lb}$$

Assim a margem de segurança se torna

$$MS = \frac{23.600}{3315} - 1 = 6,2$$

que é alta.

Apêndice B

MOMENTOS PERTURBADORES QUE AGEM SOBRE O SATÉLITE

Os momentos perturbadores surgem de quatro fontes principais: (1) forças internas, resultantes do mal alinhamento dos sistemas de impulsão do satélite; (2) momentos magnéticos, resultantes da interação do satélite com o campo magnético da Terra; (3) momentos solares, resultantes de assimetrias no contorno que o satélite mostra o Sol; (4) forças gravitacionais ao Sol e da Lua, e forças diferenciais em várias partes do satélite.

Estes quatro agentes perturbadores produzem tanto momentos como fôrças lineares, mas estas últimas são absorvidas pelo sistema ativo de controle de posição a partir do solo. Desde que tal sistema é praticamente o mesmo para qualquer satélite, este apêndice só trata dos momentos que decorrem da configuração do SACI.

1. Fôrças Internas

As forças devidas ao mal alinhamento dos impulsores são controladas faseando convenientemente o disparo dos impulsores de modo que o vetor empuxo resultante passe pelo centro de massa, e assim não originando momentos. O bamboleio introduzido por este processo é desprezível devido à impulsão extremamente baixa do sistema de jato.

2. Distúrbios Magnéticos

O momento que age sobre o satélite pode ser encontrado a partir da equação:

$\vec{T} = \vec{M} \times \vec{B}$. Seu limite superior pode ser calculado de $|\vec{M}| \times |\vec{B}|$.

Na altitude síncrona $\vec{B} = Me/r_0^3 \approx 10^{-7}$ weber/m². Para o satélite SACI, o momento magnético de cada um dos painéis solares é cerca de 200 amp-m², que produziria um torque de 2×10^{-5} N-m no caso de completa falha elétrica de um painel.

Devido às correntes de Foucault induzidas na cobertura do satélite, a velocidade de rotação decrescerá exponencialmente, com uma constante de tempo dada por:

$$\tau = \frac{2 \rho}{\sigma B_{\perp}^2}$$

onde: ρ é a densidade do material do corpo do satélite, σ é a condutividade, e $B_{\perp}$ é o campo magnético perpendicular ao eixo de rotação. No caso de um cilindro de alumínio, a mínima constante de amortecimento é 4.200 anos.

3. Momento Solar Devido aos Painéis de Células Solares

O sistema de eixos x, y, z , ligados ao corpo do satélite, mostra, na Fig. B-1, o sistema de controle de painéis solares do SACI: o Sol está sempre no plano $z-y$, e $x-y$ é o plano equatorial.

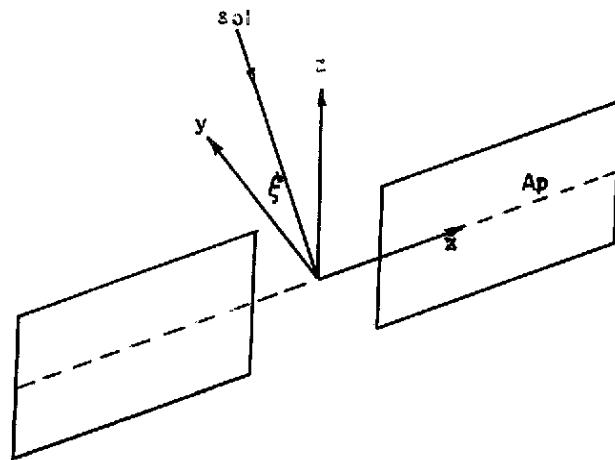


Fig. B-1. SISTEMA DE REFERÊNCIA LIGADO AO CORPO DO SATÉLITE. (Nota: O vetor solar está sempre no plano y-z)

Claramente, mesmo para um perfeito posicionamento dos painéis solares a pressão solar varia durante o ano ($\xi = \pm 23^\circ$). Apenas a análise para $\xi = 0$ (isto é, para o equinócio outonal ou vernal) é apresentada aqui.

A força devida à radiação solar incidente sobre a superfície A do veículo pode ser expressa por [1] :

$$\vec{F} = -V \left[\int_A (1+\nu) |\vec{v} \cdot \vec{n}| (\vec{v} \cdot \vec{n}) \vec{n} dA + \int_A (1-\nu) |\vec{v} \cdot \vec{n}| \vec{n} \times (\vec{v} \times \vec{n}) dA \right] \quad (1)$$

onde $\vec{n}$ é um vetor unitário dirigido no mesmo sentido que a normal exterior de dA , e $\vec{v}$ é definido como o vetor dirigido do centro de massa do veículo ao Sol. O momento total de radiação solar em torno do centro de massa do veículo é então $\vec{T} = \vec{\ell} \times \vec{F}$ onde $\vec{\ell}$ é o vetor dirigido do centro de massa do veículo ao centro de pressão da superfície.

Se $\xi = 0$, nós temos $\vec{v} = \vec{a}_y = -\vec{n}$. Então $\vec{F}$ reduz-se a:

$$\vec{F} = -V \left[\int_A (1 + v) \vec{a}_y dA \right] \quad (2)$$

e o momento devido a ambos os painéis solares é

$$\vec{T} = (\vec{\ell}_1 - \vec{\ell}_2) \times \vec{F} = -V(1 + v)A_p (\vec{\ell}_1 - \vec{\ell}_2) \times \vec{a}_y$$

Seja $\vec{L}$ o vetor do centro de pressão do veículo ao centróide dos painéis.

Então $(\vec{\ell}_1 - \vec{\ell}_2) = 2\vec{L}$ e:

$$\left. \begin{aligned} T_x &= 2L_z A_p (1 + v) V \quad \text{N-m} \\ T_y &= 0 \quad \text{N-m} \\ T_z &= 2L_x A_p (1 + v) V \quad \text{N-m} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

onde V é a pressão solar, $4,5 \times 10^{-6} \text{ N/m}^2$, e v é o coeficiente de reflexão das células solares ($\approx 0,4$).

O deslocamento L_x pode ocorrer se um painel solar não se desenrola totalmente, e $L_x = d/2$, onde d é a quantidade que falta desenrolar. O deslocamento L_z pode ocorrer se os painéis não se desenrolam perpendicularmente ao eixo de rotação. Se ambos os painéis se dobram da mesma maneira, $L_z = h/2$,

onde h é o deslocamento da extremidade do painel. Assim, com $A_p = 14 \text{ m}^2$,

$$|T_z| = 8,8d \times 10^{-5} \text{ N-m}$$

$$|T_x| = 8,8h \times 10^{-5} \text{ N-m}$$

No satélite SACT, o sistema de controle dos painéis solares deverá sobrepujar T_z , mas T_x é transmitido para o corpo central e o sistema de contrôle de atitude deve agir para manter o alinhamento correto.

Mesmo se um painel falha completamente, os jatos da seção que esti ver girando podem compensar T_z , e se os painéis se desenrolarem por completo, h não excederá 0,1 metros, deixando um momento $|T_x|$ de $(8,8 \times 10^{-6} \text{ N-m})$ para ser controlado pelo sistema do controle de inclinação.

4. Momentos do Gradiente Gravitacional

Os momentos do gradiente gravitacional agirão principalmente sobre os painéis solares do SACT. Já que eles estarão voltados para o Sol, e girando ao redor de um eixo paralelo ao eixo da Terra, a força exercida nos painéis fará aparecer momentos em relação ao eixo de rotação deles, que tenderão a acelerá-los e desacelerá-los duas vezes por dia. Esta força pode ser calculada da expressão do momento do gradiente de gravidade [3].

$$T_g = \frac{3}{2} \mu (\sin 2\psi) (I_y - I_x) \text{ N-m}$$

onde ψ é o ângulo entre o eixo y e a vertical local. Desde que $\mu = GM/r_0^3 = 5,4 \times 10^{-9}$ na altitude síncrona, $I_y = 1,09 \times 10^{-3} \text{ kg-m}^2$, e $I_x = 28,2 \text{ kg-m}^2$, o momento máximo ocorre quando $2\psi = \pi/2$ e é apenas

$$T_g = 8,6 \times 10^{-6} \text{ N-m}$$

Tal momento pode ser facilmente neutralizado pelos motores síncronos de acionamento dos painéis solares, e como o dito momento é cíclico, não serão cumulativos os seus efeitos na seção girante do satélite.

REFERÊNCIAS

1. R.E. Fischel "Magnetic Damping of the Angular Motions of Earth Satellites", ARS J., 31, 1961, pags. 1210-17.
2. O.H. Gerlach, "Attitude Stabilization and Control of Earth Satellite", Space Science Rev. 4, 1965, pags. 541-582.
3. J.B. Kendrick (Ed.), TRW Space Data, Terceira Edição, TRW System Group, 1967.
4. R.J. McElvain, "Effects of Solar Radiation Pressure on Satellite Attitude Control," Guidance and Control, 8, Agosto 1961, pag. 543.
5. R.J. McElvain, "Satellite Angular Momentum Removal Utilizing The Earth's Magnetic Field," Torques and Attitude Sensing in Earth Satellites, S. Fred Singer (Ed.), Academic Press, New York, 1964, pag. 137.
6. P.C. Wheeler et al, "Evaluation of a Semi-Active Gravity System," NASA Contractor Rept., Vol. II, Outubro 1966.

Apêndice C

CONTRÔLE POR GRADIENTE DA GRAVIDADE

O controle de atitude por gradiente de gravidade devido à sua natureza passiva e alta confiabilidade, foi uma idéia sedutora para o projeto SACT. Foi feito um estudo para determinar se tal controle poderia fornecer o posicionamento preciso da antena necessário para esta missão. Os resultados desse estudo estão aqui apresentados.

O problema básico com projetos de gradiente de gravidade é que idealmente devem ser rígidos e de massa zero os braços em cujos extremos estão as massas que devem sofrer a ação do gradiente mas o aquecimento diferencial pelo sol como que inclina os braços para trás, deslocando desta maneira o centro de massa (c.m.) do satélite de sua localização prevista.

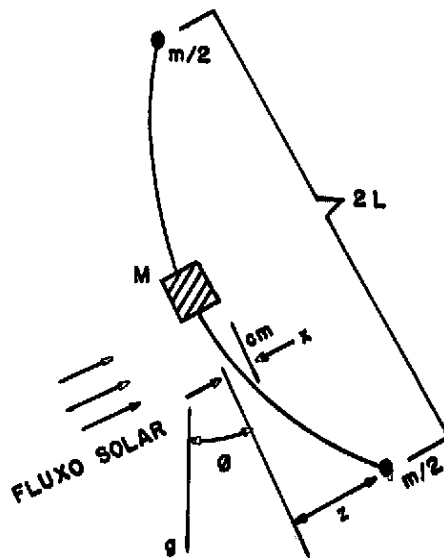


Fig. C-1. MODELO SIMPLIFICADO DE GRADIENTE DE GRAVIDADE.

Para o satélite poder ser útil, esta deflexão deverá ser tão pequena que cada seção do braço receba o mesmo fluxo que qualquer outra seção, e que as deformações iguais produzam no braço uma curvatura em arco de círculo. Para pequenas curvaturas, o deslocamento das pontas poderá ser encontrado a partir da expressão $z = kl^2$, onde k foi determinado empiricamente para braços de Be-Cu, em órbitas terrestres, como sendo $9,7 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1} [2]$. O deslocamento do c. m. é dado por:

$$Mx = m(z-x) \quad \text{ou} \quad x = \frac{mz}{M+m} \quad \text{ou} \quad x = \frac{mkl^2}{M+m}$$

Os motores de conservação da posição, produzindo uma força de $F = 1,3 \times 10^{-3} \text{ N}$, produzirão um momento perturbador de $Fx = Fmkl^2 / (M+m)$.

Para pequenos ângulos, a força restauradora de gradiente da gravidade é dada por [1].

$$T_g = 3\mu ml^2 \psi$$

onde $\mu = gM/r_o^3 = 5,4 \times 10^{-9}$ na altura síncrona. Assim a perturbação de regime durante as manobras de conservação da posição será dada por

$$T_g = Fx \quad \text{ou} \quad \frac{Fmkl^2}{M+m} = 3\mu ml^2 \psi \quad \text{ou} \quad \psi = 3\mu \frac{Fk}{(M+m) 3\mu}$$

Para um satélite de 320 kg, $\psi = 0,41$ radianos $\approx 23^\circ$, o que é mais que duas ordens de grandeza pior que a especificação de projeto de $0,1^\circ$ para a precisão de apontamento. Por isso a idéia de controle de atitude do SACI pelo gradiente de gravidade foi eliminada. Mesmo que o encurvamento do braço

fôsse reduzido de uma ordem de grandeza, o gradiente da gravidade ainda seria insatisfatório.

REFERÊNCIAS

1. J.B. Kendrick (ed.), TRW Space Data, 3d ed., TRW Systems Group, 1967.
2. J.D. Macnaughton, "Unfurlable Metal Structures for Space Exploration", DeHaviland Aircraft of Canada, Ltda., Jan 1963.

Apêndice D

PROJETO DO SISTEMA DE CONTRÔLE DO EIXO LONGITUDINAL

Este apêndice apresenta o projeto detalhado do sistema de controle para posicionamento das seções reguladas do satélite. A notação e as variáveis usadas neste apêndice são explicadas abaixo:

Momentos de inércia (kg-m^2)

J_1	para a seção da antena (seção superior)
J_2	para a seção girante
J_3	para a seção do painel solar

Ganhos

K_{s1}	sensor de Terra (volts/radiano)
K_{s3}	sensor do Sol (volts/radiano)
K_{01}	oscilador local para o motor 1 (hertz/volt)
K_{03}	oscilador local para o motor 3 (hertz/volt)
K_{A1}, K'_{A1}	amplificadores na malha de controle da antena (volts/volt)
K_{A3}, K'_{A3}	amplificadores na malha de controle do painel solar (volts/volt)
K_1	percurso de controle da antena, $J_2 \times K_{s1} \times K_{A1} \times K_{01}$
K'_1	percurso de controle da antena, $J_2 \times K_{s1} \times K'_{A1} \times K_{01}$
K_3	percurso de controle do painel solar, $J_2 \times K_{s3} \times K_{A3} \times K_{03}$

K'_3 percurso de controle do painel solar, $J_2 \times K_{s3} \times K'_{A3} \times K_{03}$

Intervalos de tempo (seg)

t_p instante de ocorrência do erro máximo de apontamento após a aplicação de um degrau de momento ao sistema

Momentos em relação ao eixo longitudinal (N-m)

T_{m_1} aplicado pelo motor da seção da antena

T_{m_3} aplicado pelo motor da seção do painel solar

T_{d_1} perturbação externa aplicada à seção superior

T_{d_2} perturbação externa aplicada à seção girante

T_{d_3} perturbação externa aplicada à seção do painel solar

T_d momento externo total (= $T_{d_1} + T_{d_2} + T_{d_3}$)

Constantes de tempo (seg)

τ_1 do sistema de controle da orientação da antena

τ_3 do sistema de controle da orientação do painel solar

Velocidades angulares (rad/seg)

$\dot{\theta}_1$ velocidade real da seção superior em redor do eixo de rotação

$\dot{\theta}_2$ velocidade real da seção girante em redor do eixo de rotação

$\dot{\theta}_3$ velocidade real da seção do painel solar em redor do eixo de rotação

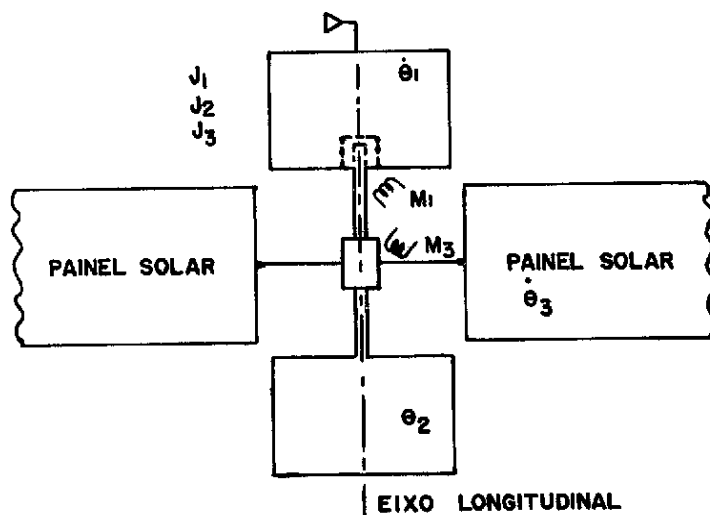
$\dot{\theta}_{dia}$ velocidade da Terra em torno do seu eixo

$\dot{\theta}_{ano}$ velocidade da Terra em torno do Sol

Posições angulares (rad)

θ_1	<i>posição instantânea real da seção superior (antena)</i>
θ_2	<i>posição instantânea real da seção girante</i>
θ_3	<i>posição instantânea real dos painéis solares</i>
$\Delta\theta_1$	<i>erro de posicionamento da antenna</i>
$\Delta\theta_3$	<i>erro de posicionamento dos painéis solares</i>
$(\Delta\theta_1)_{ss}$	<i>erro de posicionamento de regime da antenna</i>
$(\Delta\theta_3)_{ss}$	<i>erro de posicionamento de regime dos painéis solares</i>

Um esquema do satélite mostrando as três partes girantes é mostrado na Fig. D-1. A Figura D-2 mostra um circuito elétrico equivalente para o satélite. As medidas do erro de orientação, $\Delta\theta_1$, da antenna principal são feitas pelo interferômetro descrito anteriormente. Um sensor solar na seção das células solares dá o erro de alinhamento, $\Delta\theta_3$, da dita seção.

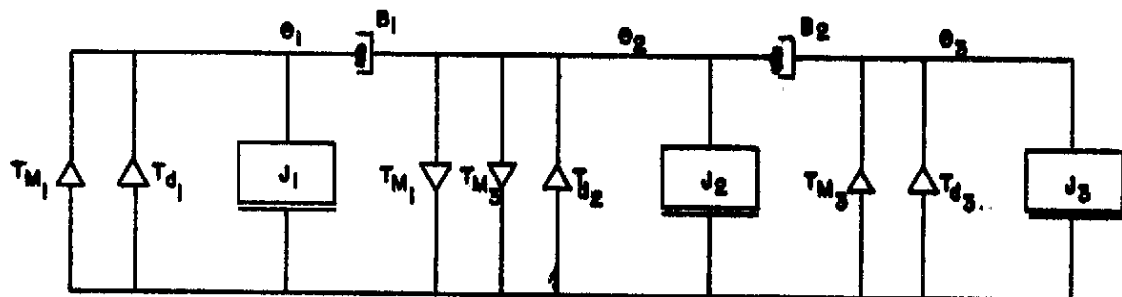


J_1, J_2, J_3 = momentos de inércia em relação ao eixo longitudinal

$\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2, \dot{\theta}_3$ = velocidades angulares com respeito a um referencial inercial

M_1, M_3 = enrolamentos de controle dos dois motores; o motor 1 conecta a seção que suporta a antena (corpo 1) à seção girante (corpo 2), e o motor 3 conecta os painéis solares (corpo 3) à seção girante.

Fig. D-1. DIAGRAMA DO SATÉLITE ILUSTRANDO OS MOMENTOS DE INÉRCIA EM RELAÇÃO AO EIXO LONGITUDINAL.



- B_1, B_3 = coeficientes de fricção dos mancais dos motores 1 e 3, respectivamente
- T_{m_1}, T_{m_3} = momentos aplicados pelo motor M_1 , da antena, e o motor M_3 , do painel solar, aos corpos 1 e 3, respectivamente
- $T_{d_1}, T_{d_2}, T_{d_3}$ = componentes do momento perturbador externo em relação ao eixo longitudinal aplicados aos corpos 1, 2, e 3, respectivamente

Fig. D-2. CIRCUITO ELÉTRICO EQUIVALENTE PARA O SATÉLITE

As equações dinâmicas de movimento do satélite em redor do eixo longitudinal são:

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + B_1 (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_2) = T_{m_1} + T_{d_1} \quad (1a)$$

$$J_2 \ddot{\theta}_2 + B_1 (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1) + B_3 (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3) = -T_{m_1} - T_{m_3} + T_{d_2} \quad (1b)$$

$$J_3 \ddot{\theta}_3 + B_3 (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2) = T_{m_3} + T_{d_3} \quad (1c)$$

Destas equações, pode-se concluir que o modo mais fácil de controlar a atitude do satélite em relação ao eixo longitudinal é usar dois motores (chamados "torque motors") que dão momentos de saída proporcionais à voltagem de contrôle aplicada, de maneira que T_{m_1} e T_{m_3} dependam dos êrros $\Delta\theta_1$ e $\Delta\theta_3$, os únicos parâmetros acessíveis. Entretanto, êste tipo de contrôle seria difícil de se conseguir por duas razões. Primeiro, a complicação introduzida pela interdependência das equações (1a) e (1c) torna difícil a escolha de um esquema de contrôle para T_{m_1} e T_{m_3} tal que as especificações de contrôle de êrro sejam satisfeitas. Segundo, e talvez mais importante, os momentos devidos ao atrito, que são desconhecidos, devem ser incluídos num esquema de contrôle de momentos. Como as velocidades angulares relativas estarão ao redor de 200 rpm, os momentos devidos ao atrito, que são proporcionais à velocidade angular, introduzirão perturbações importantes que precisarão ser compensadas pelo sistema. Assim, foi decidido usar motores síncronos em lugar de "torque motors", de maneira que a velocidade possa ser diretamente controlada.

A razão para o uso de motores síncronos no sistema torna-se aparente se as equações (1a) e (1c) forem combinadas para se obter

$$J_1 \ddot{\theta}_1 + J_2 \ddot{\theta}_2 + J_3 \ddot{\theta}_3 = T_{d_1} + T_{d_2} + T_{d_3} \equiv T_d \quad (2)$$

Sendo ω_{m_1} a velocidade do motor que acopla a seção da antena à seção girante e ω_{m_3} a velocidade do motor que acopla a seção girante aos painéis solares, vem:

$$\omega_{m_1} = \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_1 \quad (3a)$$

$$\omega_{m_3} = \dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3 \quad (3b)$$

Se $\ddot{\theta}_2$ é eliminado da equação (2) usando a (3a), a expressão resul
tante terá somente as derivadas segundas das atitudes θ_1 e θ_3 , a derivada
primeira da velocidade angular (velocidade do motor) ω_{m_1} , e o momento pertur
bador externo T_d . Assim, uma lei, relativamente simples, de contrôle pode
ser encontrada para ω_{m_1} , e similarmente para ω_{m_3} em têrmos dos parâmetros
fornecidos pelos sensores. Para se obter ω_{m_1} e ω_{m_3} na prática, serão usa-
dos osciladores capazes de fornecer potência aos enrolamentos dos motores sân
crons.

Da Fig. D-3 fica claro que os parâmetros fornecidos pelos sensores
são dados pelas expressões:

$$\Delta\theta_1 = \int (\dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_{dia}) dt \quad (4a)$$

$$\Delta\theta_3 = \int (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_{ano}) dt \quad (4b)$$

E assim:

$$\Delta\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_1 - \dot{\theta}_{dia} \quad (5a)$$

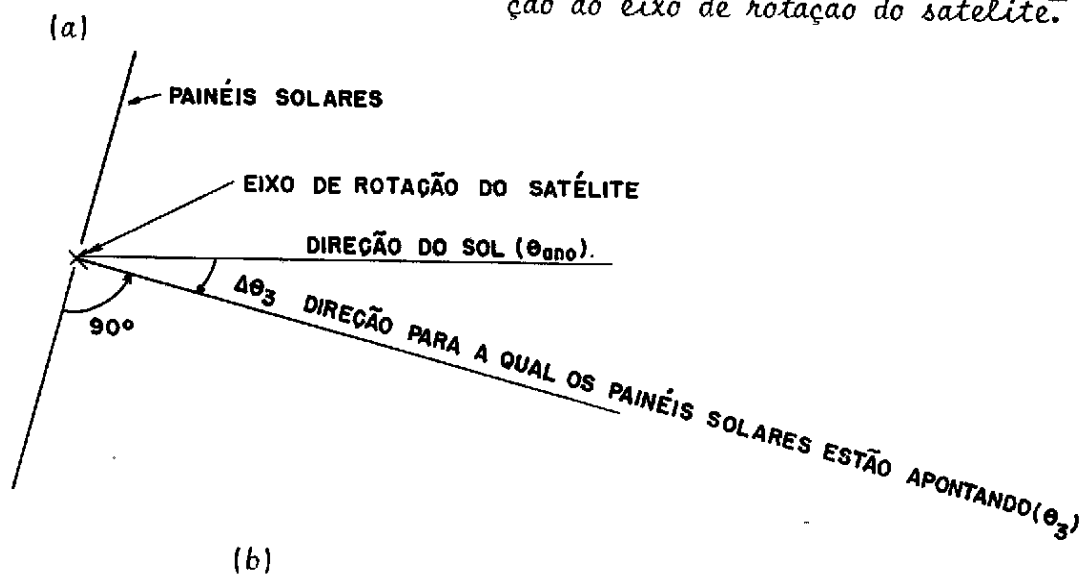
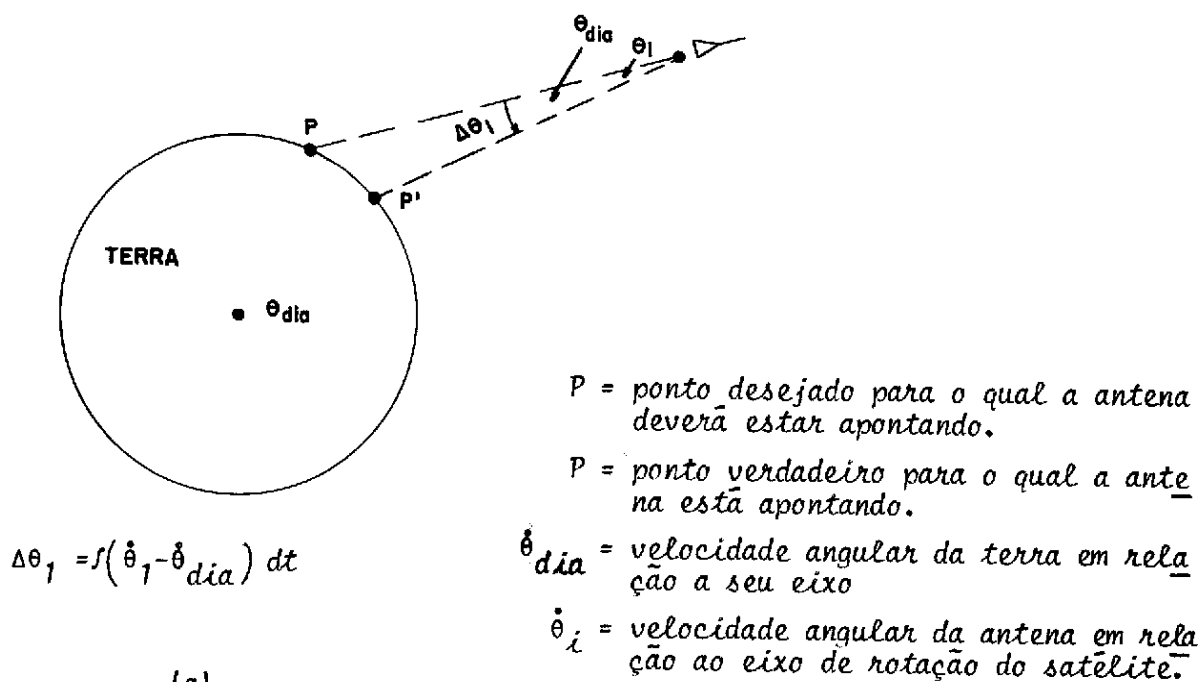
$$\Delta\dot{\theta}_3 = \dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_{ano} \quad (5b)$$

Como $\dot{\theta}_{dia}$ ($\equiv$ 1 rotação por dia) e $\dot{\theta}_{ano}$ ($\equiv$ 1 rotação por ano)
são constantes,

$$\ddot{\theta}_1 = \Delta\ddot{\theta}_1 \quad (6a)$$

$$\ddot{\theta}_3 = \ddot{\Delta\theta}_3 \quad (66)$$

Como o sistema de controle atua de maneira a manter constantes os erros de posicionamento $\Delta\theta_i$ ($i = 1, 3$) para um degrau de momento de perturbação, as derivadas em relação ao tempo de $\Delta\theta_i$ são iguais a zero na operação de regime do sistema.



$\dot{\theta}_{ano}$ = velocidade angular da terra em redor do sol

$\dot{\theta}_3$ = velocidade angular dos painéis solares ao redor do eixo de rotação do satélite

Fig. D-3. GEOMETRIA (a) DO ERRO DE POSIÇÃO DA ANTENA E (b) DO ERRO DE POSIÇÃO DOS PAINÉIS SOLARES.

Usando este fato, que decorre do sistema de controle e da Eq. (2), vê-se que basta mudar a velocidade angular $\dot{\theta}_2$ do corpo de alta rotação para compensar o momento perturbador externo aplicado ao satélite.

Se o satélite não sofrer a ação de momentos perturbadores externos, as velocidades angulares $\dot{\theta}_1, \dot{\theta}_2$ e $\dot{\theta}_3$ manter-se-ão constantes ($\dot{\theta}_1 = \dot{\theta}_{dia}$ e $\dot{\theta}_3 = \dot{\theta}_{ano}$). A súbita aplicação de um momento perturbador externo fará sair essas velocidades angulares de seus valores de equilíbrio, com o que mudará a frequência dos osciladores, e assim a velocidade dos motores síncronos, sofrerá uma mudança dada por:

$$\Delta\omega_{m_1} = \Delta\dot{\theta}_2 - \Delta\dot{\theta}_1 \quad (7a)$$

$$\Delta\omega_{m_3} = \Delta\dot{\theta}_2 - \Delta\dot{\theta}_3 \quad (7b)$$

As leis de controle para $\Delta\omega_1$ e $\Delta\omega_3$ agora podem ser determinadas com vistas a irem os polos das funções de transferência $\Delta\theta_i(s)/T_d(s)$ onde melhor convir. Para serem levadas em conta as variações das velocidades angulares em relação aos seus valores iniciais, combinam-se as equações (2), (6a), e (7a), e em seguida (2), (6b), e (7b):

$$(J_1 + J_2)\Delta\ddot{\theta}_1 + J_2\Delta\dot{\omega}_{m_1} + J_3\Delta\ddot{\theta}_3 = T_d \quad (8a)$$

$$(J_3 + J_2)\Delta\ddot{\theta}_3 + J_2\Delta\dot{\omega}_{m_3} + J_1\Delta\ddot{\theta}_1 = T_d \quad (8b)$$

Passando para o domínio das frequências por meio da transformada de Laplace:

$$(J_1 + J_2)s^2 \Delta\theta_1(s) + s J_2 \Delta\omega_{m_1}(s) + s^2 J_3 \Delta\theta_3(s) = T_d(s) \quad (9a)$$

$$(J_3 + J_2)s^2 \Delta\theta_3(s) + s J_2 \Delta\omega_{m_3}(s) + s^2 J_1 \Delta\theta_1(s) = T_d(s) \quad (9b)$$

Uma inspeção das equações (9a) e (9b) mostra que é possível escolher funções

$$s(\Delta\omega_{m_i}(s)) = f_i(\Delta\theta_1(s), \Delta\theta_3(s)) \quad i = 1, 3 \quad (10)$$

para se obter uma função de transferência desejada $\Delta\theta_i(s)/T_d(s)$.

Como os momentos perturbadores não crescem indefinidamente com o tempo, será suficiente um sistema que tenha um erro constante de posicionamento de regime ao ser aplicada uma perturbação de um degrau de momento. Uma inspeção das Equações (9a,b), que são de segunda ordem, mostra que se forem funções simples de segunda ordem as funções f_i descritas por (10), uma função de transferência de segunda ordem $\Delta\theta_i(s)/T_d(s)$ ($i=1,3$) de classe zero (sem polos na origem) e grau dois (sem zeros) poderá ser obtida. Tais funções de transferência, que satisfazem às necessidades do controle, são extensivamente estudadas na literatura [2,3]. Assim, as seguintes funções são possíveis:

$$sJ_2 \Delta\omega_{m_1}(s) + s^2 J_3 \Delta\theta_3(s) = K_1 s \Delta\theta_1(s) + K'_1 \Delta\theta_1(s)$$

$$sJ_2 \Delta\omega_{m_3}(s) + s^2 J_1 \Delta\theta_1(s) = K_3 s \Delta\theta_3(s) + K'_3 \Delta\theta_3(s)$$

ou

$$\Delta\omega_{m_1}(s) = \frac{1}{J_2} \left(K_1 + \frac{K'_1}{s} \right) \Delta\theta_1(s) - s \frac{J_3}{J_2} \Delta\theta_3(s) \quad (11a)$$

$$\Delta\omega_{m_3}(s) = \frac{1}{J_2} \left(K_3 + \frac{K'_3}{s} \right) \Delta\theta_3(s) - s \frac{J_1}{J_2} \Delta\theta_1(s) \quad (11b)$$

onde K_1, K'_1, K_3, K'_3 são constantes do sistema a serem determinadas pelas necessidades do controle.

O diagrama de blocos do sistema está na Fig. D-4. Os parâmetros K mostrados na figura são explicados na lista de variáveis.

Com $\Delta\omega_{m_1}(s)$ e $\Delta\omega_{m_3}(s)$ dados pelas Equações (11a,b), as funções de transferência do sistema que relacionam os erros de posicionamento $\Delta\theta_1$ e $\Delta\theta_3$ ao momento perturbador externo T_d são:

$$\Delta\theta_1(s) = \frac{T_d(s)}{s^2(J_1 + J_2) + K_1s + K'_1} \quad (12a)$$

$$\Delta\theta_3(s) = \frac{T_d(s)}{s^2(J_3 + J_2) + K_3s + K'_3} \quad (12b)$$

Os erros de posicionamento de regime devidos à aplicação de um degrau de momento, T_d , à entrada do sistema são dados por:

$$(\Delta\theta_i)_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} s\Delta\theta_i(s) = \frac{T_d}{K'_i} \quad i = 1, 3 \quad (13)$$

Esta equação determina o valor de K_i pois $(\Delta\theta_i)_{ss}$ é especificado e T_d é conhecido. O que resta para ser determinado é o valor de K'_i , e para isto temos de investigar a resposta transitória do sistema.

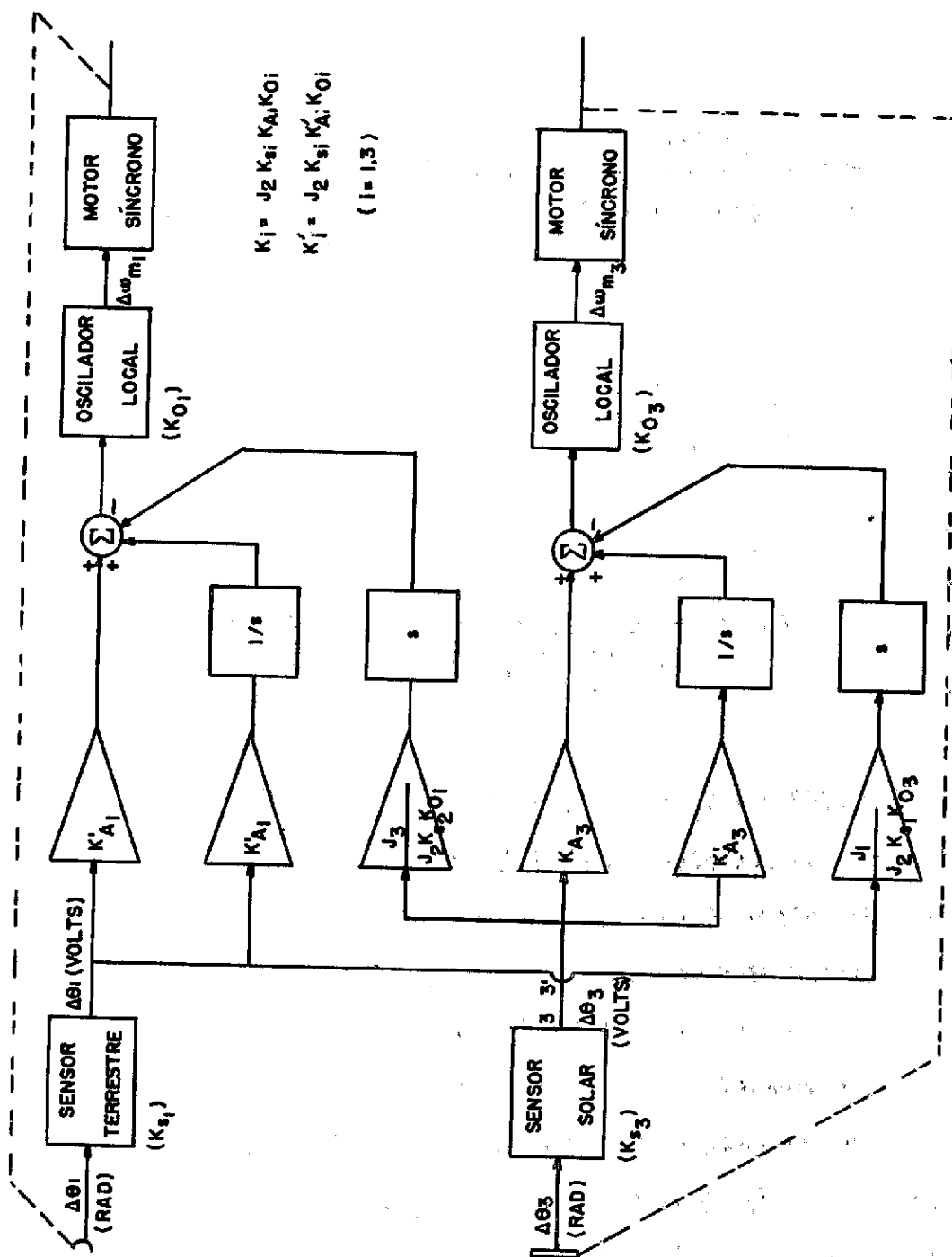


Fig. D-4. DIAGRAMA DE BLOCOS DO SISTEMA DE CONTRÔLE DO PAINEL SOLAR E DA ANTENA.

As equações (12a,b) podem ser escritas na forma padrão:

$$\Delta\theta_i(s) = \frac{T_d(s)}{s^2 + 2\xi_i\omega_{n_i}s + \omega_{n_i}^2} \left(\frac{1}{J_1 + J_2} \right) \quad i = 1, 3$$

onde

$$\omega_{n_i}^2 = \frac{K'_1}{J_1 + J_2} \quad (14a)$$

$$\xi_i = \frac{K_1}{2\sqrt{K'_1(J_i + J_2)}} \quad (14b)$$

Assim a determinação de K_i é reduzida a uma escolha da relação de amortecimento ξ_i , como pode ser visto na Equação (14b).

Uma estimativa dos momentos perturbadores mais importantes atuando sobre o satélite e a determinação de seus efeitos na velocidade angular da seção de alta rotação serão muito úteis para se selecionar a relação de amortecimento ξ_i . Os momentos perturbadores como são vistos pelo sistema de controle serão agora brevemente considerados, e em seguida será feito o cálculo dos parâmetros K_i e K'_i os quais juntos completam o projeto do sistema.

Após o satélite entrar em órbita, a seção girante estará com uma velocidade angular, $\dot{\theta}_2(0)$, de aproximadamente 200 rpm em redor do eixo longitu

dinal. O aparecimento de um momento perturbador externo causará uma mudança nessa velocidade angular. Como o sistema de controle tenta conservar fixas as velocidades angulares da antena e dos painéis solares (isto é verdadeiro somente após ter cessado a resposta transitória, determinada pela transformada inversa da equação (12), e se ter alcançado o regime), a conservação da quantidade de movimento angular implica em *

$$\frac{d}{dt} \dot{\theta}_2 = \frac{T_d}{J_2}$$

Assim um momento externo atuando continuamente na mesma direção tem o efeito de aumentar continuamente (ou de diminuir, se T_d é negativo) a velocidade angular da seção girante.

O satélite terá jatos de reação os quais serão disparados de tempos em tempos para trazer a velocidade angular para 200 rpm. Se o momento perturbador externo é constante, a aceleração angular da seção girante também será constante e será dada por:

$$\frac{\Delta \dot{\theta}_2}{\Delta t} = \frac{T_d}{J_2} \quad (15)$$

Para um momento perturbador externo da ordem de 10^{-5} N-m, que é a intensidade do momento devido à pressão da radiação solar, a razão de mudan

* Note-se que isto é simplesmente a aplicação da Eq. (2) com $\dot{\theta}_1$ e $\dot{\theta}_3$ constantes.

ça de $\dot{\theta}_2$ será somente da ordem de algumas revoluções por semana. Entretanto, para manter $\dot{\theta}_2$ em seu valor inicial, os jatos de reação periodicamente aplicam um momento em relação ao eixo longitudinal da ordem de 10^{-3} N-m. Este momento mais forte irá obviamente perturbar as atitudes da antena e dos painéis solares; assim para ser respeitado um erro de posicionamento máximo especificado para esses elementos, o sistema de controle deve ser projetado para compensar o maior dos momentos que é o dos jatos de rotação. O resultado desta especificação é que um erro de posicionamento muito menor que o máximo especificado é obtido durante a maior parte da vida do satélite.

Um exame da transformada inversa da Equação (12) mostra que com a aplicação do degrau de momento ao satélite, o valor absoluto dos erros de posicionamento aumentará com o tempo e tenderá para o valor constante dado pela Eq. (13). A forma das respostas dependerá dos valores de ξ_i dados pela equação (14b) quando comparados com a unidade. Se ξ_i for maior que um, a resposta do sistema será lenta, o que significa que a antena e os painéis solares levarão um tempo maior para alcançar suas posições de equilíbrio do que levariam com ξ_i menor ou igual à unidade. Se ξ_i é menor que a unidade a resposta irá ultrapassar seu valor final de regime; este excesso de resposta aumenta com a diminuição de ξ_i . A amplitude máxima da resposta oscilatória é alcançada ao fim do tempo:

$$t_{pi} = \frac{\pi}{\omega_{ni} \left(1 - \xi_i^2\right)^{\frac{1}{2}}} \quad (16)$$

após a aplicação do degrau de momento. Será considerado um valor de $\xi_i = 0,7$ ($i=1,3$) nos cálculos seguintes. Como veremos, esta escolha levará a um t_{p1}

da ordem de 30 seg e t_{p_3} da ordem de alguns minutos, os quais são valores a ceitáveis considerando-se que os painéis solares têm uma estrutura longa e flexível.

A especificação para o erro de posicionamento da antena $\bar{e}$:

$$\Delta\theta_1 = 0,1^\circ = 0,1/57,3 \text{ rad}$$

para os painéis solares consideraremos um erro de posicionamento de

$$\Delta\theta_3 = 5^\circ = 5/57,3 \text{ rad}$$

O momento aplicado pelos jatos de reação em relação ao eixo longitudinal $\bar{e}$:

$$T_d = 1,6 \times 10^{-3} \text{ N-m}$$

Assim, aplicando-se a Eq. (13) temos:

$$K_1' = 0,92$$

$$K_3' = 0,0184$$

Os momentos de inércia das várias partes do satélite em relação ao eixo longitudinal são:

$$J_1 = 22,6 \text{ kg-m}^2$$

$$J_2 = 27,3 \text{ kg-m}^2$$

$$J_3 = 1060 \text{ kg-m}^2$$

Assim, da equação (14b) e usando $\xi_1 = \xi_3 = 0,7$ obtemos:

$$K_1 = 9,5$$

$$K_3 = 6,3$$

Os tempos até a ocorrência do erro máximo (o qual não excede de 5% o erro de regime) são respectivamente:

$$t_{p_1} = 32 \text{ seg}$$

$$t_{p_3} = 18 \text{ min}$$

As constantes de tempo envolvidas nas respostas $(\tau_i = 1/(\xi_i \omega_{n_i}))$ são:

$$\tau_1 = 10,4 \text{ seg}$$

$$\tau_3 = 5,9 \text{ min}$$

REFERÊNCIAS

1. T.H. Chin, "Spacecraft Stabilization and Attitude Control", Space/Aeronautics, 37, Junho 1963.
2. Robert N. Clark, Introduction to Automatic Control Systems, 2^a ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, 1964.
3. John J. D'Azzo and Constantine H. Houpis, Control Systems Analysis and Synthesis, McGraw-Hill Book Company, New York, 1960
4. O. H. Gerlach, "Attitude Stabilization and Control", Space Science Rev., 4, 1965.

Apêndice E

CONTRÔLE DE ATITUDE COM DOIS PULSOS

Considerando que os jatos do controle de atitude são montados sobre a seção rotativa do satélite, o movimento dos jatos em relação ao eixo de rotação pode ser utilizado para fornecer um controle ativo do balanceio. O balanceio que surge no movimento giroscópico usual depois que um jato axial é disparado para controle de atitude pode ser cancelado disparando-se o mesmo jato, outra vez, após um certo tempo. Este apêndice descreve o período de tempo necessário para este cancelamento.

Para a seção rotativa:

$$J_x = J_y = A$$

$$I_z = C$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{\omega}_x + \omega_0 \omega_y &= \frac{T_x}{A} \\ \dot{\omega}_y - \omega_0 \omega_x &= \frac{T_y}{A} \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \text{Equação de} \\ \text{Euler} \end{array}$$

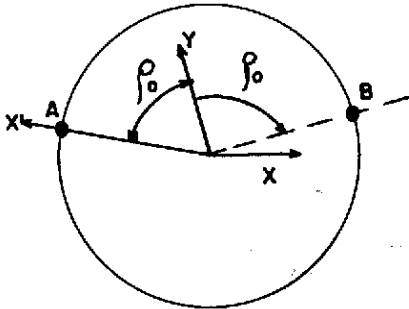
onde $\omega_0 = (\lambda - 1) \omega_z$ and $\lambda = C/A$

tomando a transformada de Laplace:

$$\omega_x(s) = \frac{sT_x(s) - \omega_0 T_y(s)}{A(s^2 + \omega_0^2)}$$

$$\omega_y(s) = \frac{sT_y(s) + \omega_0 T_x(s)}{A(s^2 + \omega_0^2)}$$

Jato A disparado em $t=0$

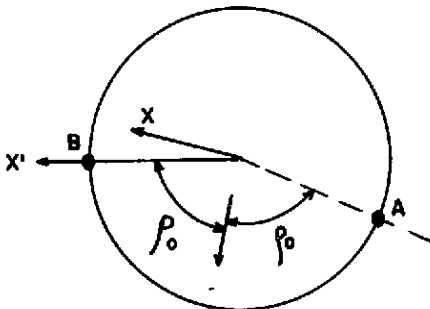


$$T_x(s) = M \cos \rho_0 (1 + e^{-sT_0})$$

$$T_y(s) = M \sin \rho_0 (1 - e^{-sT_0})$$

$$\omega_x(s) = \frac{sM \cos \rho_0 (1 + e^{-sT_0})}{A(s^2 + \omega_0^2)} - \frac{\omega_0 M \sin \rho_0 (1 - e^{-sT_0})}{A(s^2 + \omega_0^2)}$$

Jato B disparado em $t=T_0$



$$\omega_y(s) = \frac{sM \sin \rho_0 (1 - e^{-sT_0})}{A(s^2 + \omega_0^2)} + \frac{\omega_0 M \cos \rho_0 (1 + e^{-sT_0})}{A(s^2 + \omega_0^2)}$$

$$\omega_x(t) = \frac{M \cos \rho_0}{A} [\cos \omega_0 t u(t) + \cos \omega_0 (t - T_0) u(t - T_0)] - \frac{M \sin \rho_0}{A}$$

$$[\sin \omega_0 t u(t) - \sin \omega_0 (t - T_0) u(t - T_0)]$$

$$\omega_y(t) = \frac{M \sin \rho_0}{A} \left(\cos \omega_0 t \mu(t) - \cos \omega_0 (t-T_0) \mu(t-T_0) \right) + \frac{M \cos \rho_0}{A} \times \\ \times \left(\sin \omega_0 t \mu(t) + \sin \omega_0 (t-T_0) \mu(t-T_0) \right)$$

Para $t > T_0$

$$\omega_x(t) = A_x \cos \omega_0 t + B_x \sin \omega_0 t$$

$$\omega_y(t) = A_y \cos \omega_0 t + B_y \sin \omega_0 t$$

Para balanceio nulo devemos ter:

$$A_x = B_x = A_y = B_y = 0 \quad \text{Então:} \quad 2\rho_0 = \frac{\pi}{\lambda} \text{ rad}$$

O tempo entre os disparos é $\frac{\pi}{\lambda \omega_z}$ e a inclinação do eixo z é aproximadamente

$$\frac{2M}{C\omega_z} \text{ rad.}$$

Apêndice F

SENSORES DE INFRAVERMELHO PARA POSICIONAMENTO

Os sistemas normalmente empregados para a determinação da vertical local em veículos espaciais são os sistemas sensores de gravidade, sistemas de referencial inercial e sistemas visuais ou infra-vermelhos para a observação da descontinuidade planeta-espaco.

Os vôos espaciais dos últimos cinco anos estabeleceram que a radiação infra-vermelha recebida da Terra, em um ponto fora dela, a delinea claramente contra o fundo espacial, de dia e de noite, sob quaisquer condições meteorológicas. Desta maneira, sensores de horizonte, altamente sensíveis, trabalhando no espectro do infra-vermelho remoto pode detectar este horizonte térmico, e fornecer aos veículos espaciais os meios precisos para a permanente determinação da vertical local. Estes sensores são compactos, completamente automáticos e de operação passiva.

A radiação emitida passivamente por um planeta depende principalmente da temperatura absoluta no topo da sua atmosfera ou na sua própria superfície, dependendo da natureza da respectiva atmosfera.

A Tabela F-1 mostra a temperatura absoluta, a faixa de comprimentos de onda resultante, e a quantidade de radiação emitida pela superfície e pelo topo da atmosfera da Terra.

Quase toda a radiação é emitida na região infra-vermelha do espectro com comprimentos de onda maiores que $7,5\mu$. Assim, para se detectar a radiação

emitida passivamente pela Terra, os detetores de infra-vermelhos deverão ter um boa sensibilidade na faixa de comprimentos de onda entre $7,5$ e 40μ .

A radiação infra-vermelha originária de um ponto do planeta e recebida pelo veículo espacial é de duas naturezas: radiação térmica direta e radição solar refletida difusa (Fig. F-1)

A radiação térmica direta depende da temperatura da superfície do planeta e da temperatura, composição e densidade da sua atmosfera. A radiação solar refletida por qualquer parte de um planeta varia tanto em função da natureza da superfície do planeta como em função do tempo.

Tabela F-1

PARÂMETROS DE RADIAÇÃO ATMOSFÉRICA

Parâmetro	Superfície	Tôpo da Atmosfera
Temperatura ($^{\circ}\text{K}$)	290	220
Maior comprimento de onda da energia radiante emitida (μ)	10	13
Energia radiante total (Watt/cm^2 steroradiano)	0,013	0,004
Porcentagem da energia dentro do intervalo espectral de $1,8$ a 18μ	66	47
Porcentagem da energia dentro do intervalo espectral de $7,5$ a 18μ	56	45

Para se detectar confiavelmente a descontinuidade entre o horizonte e o espaço e para minimizar as indicações falsas de descontinuidade visuais

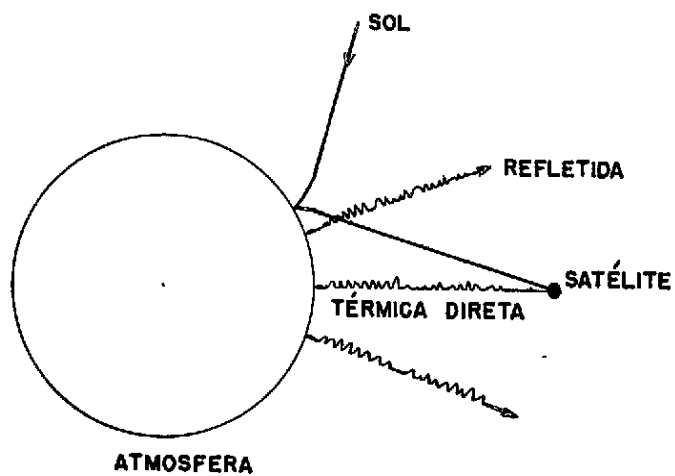


Fig. F-1. RADIAÇÃO TÉRMICA DIRETA E RADIAÇÃO SOLAR REFLETIDA DIFUSAMENTE.

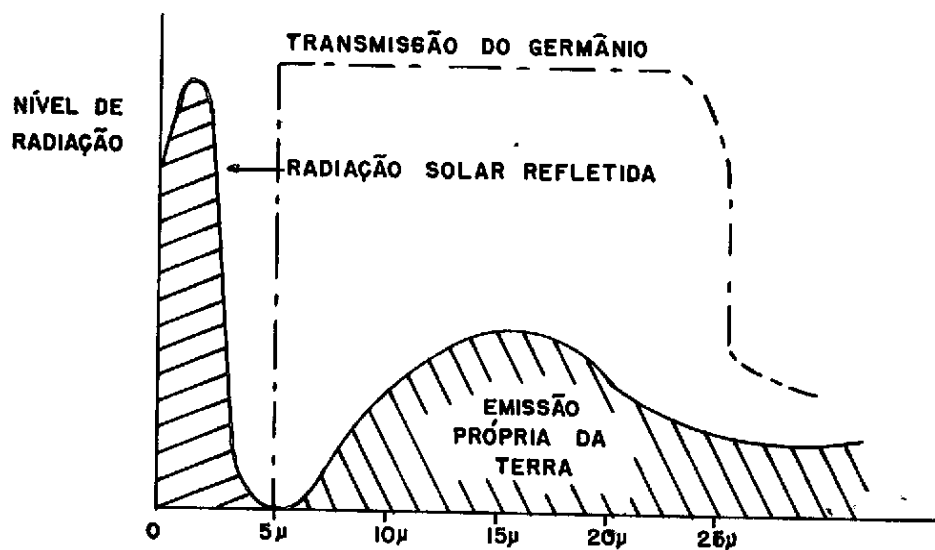


Fig. F-2. EFEITO DOS FILTROS DE GERMÂNIO USADOS PARA DEIXAR PASSAR A RADIAÇÃO DIRETA EMITIDA PELA TERRA E PARA BLOQUEAR A RADIAÇÃO SOLAR NÃO DESEJÁVEL.

abruptas da superfície do planeta, é desejável que o sensor de horizonte responda sômente à radiação técnica direta. A radiação solar refletida tem a mesma côr que a temperatura do Sol (a qual é $6\,000^{\circ}\text{K}$) e 95 por cento de sua energia tem comprimentos de onda menores que 2μ . Como é mostrado na Fig. F-2 o sistema de detecção de infra-vermelho pode ser feito relativamente insensível à luz do sol usando-se um filtro ótico de germânio puro. Este tem uma boa transmissão em comprimentos de onda maiores que $1,8\mu$ e tem uma transmissão quase nula para comprimentos de onda menores que $1,8\mu$.

O TIROS I usou uma janela atmosférica que deixava passar comprimentos de onda entre 8 e 12μ .

Uma precisão de $0,1^{\circ}\text{K}$ é facilmente obtida com as técnicas atuais. As dimensões do sensor comum são $5 \times 13\text{ cm}$.

REFERÊNCIAS

Eric M. Wormser and Morris H. Arch, "Infrared Navigation Sensors for Space Vehicles," Guidance and Control, 8 Agosto 1961, pg. 443.

Apêndice G

ESCOLHA DO TIPO DE ANTENA

Dêsde que uma grande economia resultaria até mesmo de pequena melhoria no custo ou no desempenho da antena receptora de TVE, foi feito um exaustivo estudo de muitos tipos de antenas de micro-ondas. Os tipos considerados foram: cortinas em fase, antenas corneta, antenas lente e refletores parabólicos. A cortina em fase foi rapidamente excluída devido à sua complexidade inerente; porém os outros tipos foram estudados com algum detalhe.

1. Antenas Corneta

Uma antena corneta consiste de um guia de onda gradualmente alargado de modo que a frente de onda incidente na extremidade aberta contrai-se uniformemente dentro da antena. O resultado é que a intensidade do campo colhido na boca da corneta é aumentada devido à menor área interna, e com isso pode ser obtido um ganho que depende do tipo da onda incidente e das proporções da corneta. Ângulos de alargamento muito pequenos dão maior ganho e feixes mais estreitos para um dado tamanho da boca; entretanto, ângulos pequenos resultam numa corneta excessivamente longa. Como o comprimento é a maior dimensão da corneta, o problema prático usual é obter a direcionalidade e o ganho desejados, com a menor corneta possível. Para uma corneta com um ganho de 35 dB, as dimensões relativas para as cornetas circular e retangular de proporções ótimas são comparáveis. (Veja Fig. G-1).

$$L = 1 = 0,3$$

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{0,3 \cos \theta}{1 - \cos \theta}$$

$$\frac{d}{\lambda} = \frac{0,6 \sin \theta \cos \theta}{1 - \cos \theta}$$

e $G = 5 \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2$

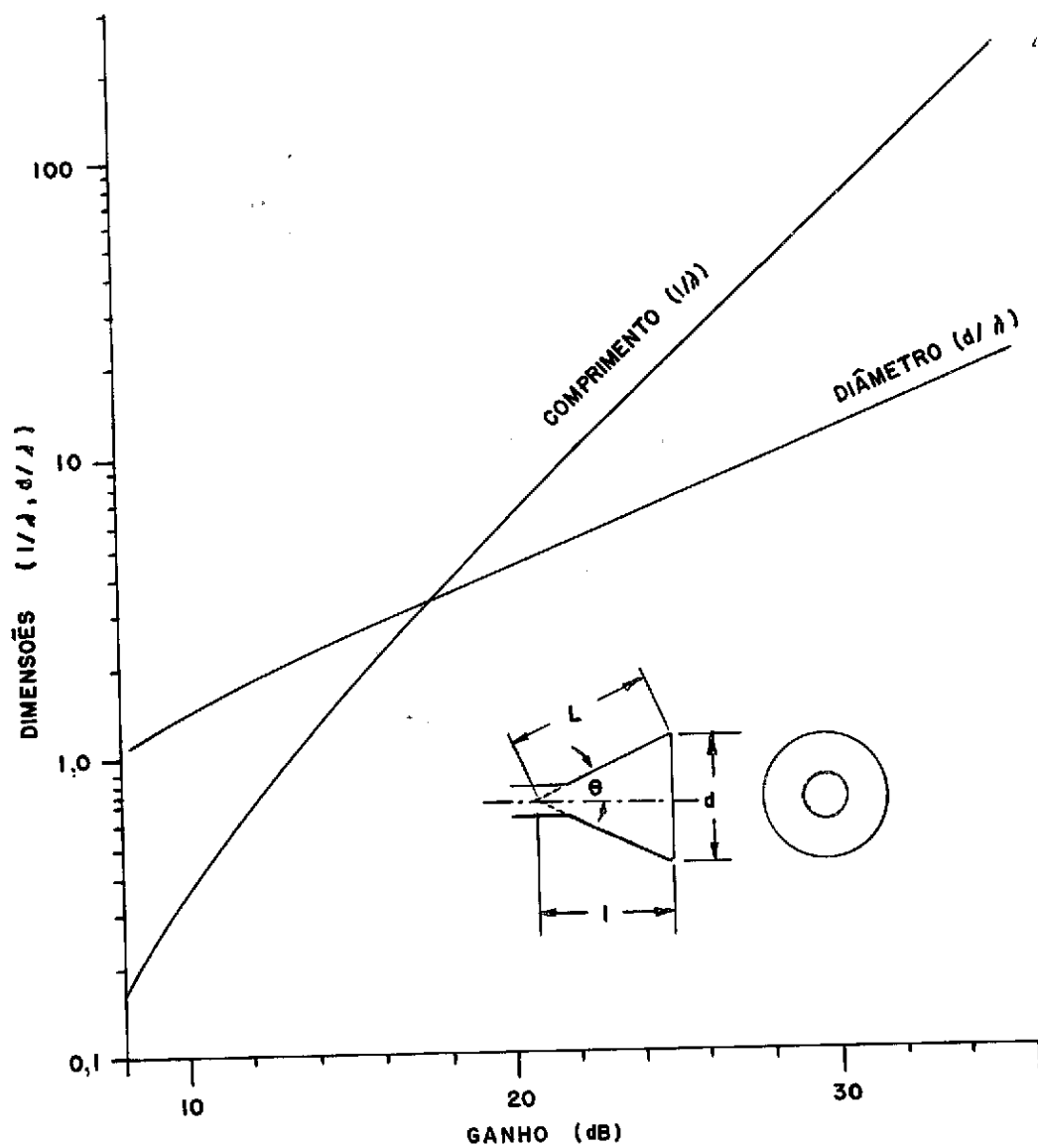


Fig. G-1 RELAÇÕES DE GANHO PARA ANTENA CORNETA

As dimensões para que uma corneta proporcione este ganho em 3,4 GHz serão 23λ (1,78m de diâmetro) e 270λ (21m de comprimento). Esta é, obviamente uma forma desajeitada para posicionamento vertical além de ser anti-econômica para produção em massa.

2. Antenas Lente

A desvantagem da antena corneta, que ocasiona sua impraticabilidade para a presente aplicação, é o enorme comprimento necessário para o alargamento. Se este não for gradual, a fase vai variar na própria frente de onda e o diagrama de radiação vai ser afetado. Para evitar isso usa-se uma lente de micro-ondas. Os tipos examinados foram a lente de material dielétrico recheado de esferas, discos e tiras condutoras, ambas semelhantes às usadas em ótica.

As esferas de metal nas lentes de dielétrico aumentam a permissividade do espaço para:

$$\epsilon = \epsilon_0 (1 + 4\pi N a^3)$$

onde

ϵ_0 = permissividade do espaço

N = número de esferas por metro cúbico

a = raio das esferas em metros

Ambos, espaçamento e raio, devem ser pequenos comparados com o comprimento de onda. Além disso, a permeabilidade do espaço livre, torna-se:

$$\mu = \mu_0 (1 - 2\pi N a^3)$$

e o índice de refração do espaço é desta forma:

$$n = \left\{ (1 - 2\pi Na^3) (1 + 4\pi Na^3) \right\}^{\frac{1}{2}}$$

Se são usados discos de metal em vez de esferas, vem:

$$\epsilon = \epsilon_0 \left(1 + \frac{16}{3} Na^3 \right)$$

E para tiras embutidas no dielétrico temos:

$$\epsilon = \epsilon_0 \left(1 + \frac{\pi s^2 n}{4} \right)$$

onde

s = largura da tira em metros

n = número de tiras por metro quadrado (olhando-se as bordas das tiras)

No caso de discos e tiras, $\mu = \mu_0$, e não há redução no índice de refração devido a efeitos magnéticos. Para obter 36 dB de ganho é necessário usar uma lente de tiras, com dimensões da ordem de 1 m^2 com tiras de cobre de 50 microns de espessura e 20mm de largura, suportadas em espuma dielétrica com índice de 1,5 e tendo eficiência total de 60 por cento.

3. Lentes metálicas

Um tipo mais útil de antena pode ser executado empilhando placas paralelas espaçadas de λ . O espaço entre as placas age como um guia de onda no qual a velocidade de fase é:

$$v = \frac{v_0}{(1 - \lambda^2/4a^2)^{\frac{1}{2}}}$$

onde v_0 é a velocidade da luz e o índice de refração é:

$$n = \left(1 - \frac{\lambda^2}{4 a^2} \right)$$

para uma lente elítica tendo a equação:

$$f = \left[(f-x)^2 + y^2 \right]^{\frac{1}{2}} + nx$$

onde f é a distância focal.

O efeito desta lente é reduzir para $11\lambda (0,85m)$ o comprimento da cor neta mencionada anteriormente, porém nenhuma redução da área da boca da ante na pode ser feita. Entretanto, a estrutura da lente aumenta a complexidade e o peso, ficando ela mais pesada e mais cara que o refletor parabólico.

4. Refletores Parabólicos

A antena mais frequentemente usada nas frequências de micro-ondas é a antena com refletor na qual uma superfície metálica de formato adequado re flete uma onda plana para um coletor localizado no foco. É portanto possível pela escolha da profundidade e do diâmetro do refletor, localizar o foco e colher num alimentador a energia recebida. O ganho de uma abertura circular i deal, que também se aplica à parábola é:

$$G = \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2$$

$$= \frac{k}{100} \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2$$

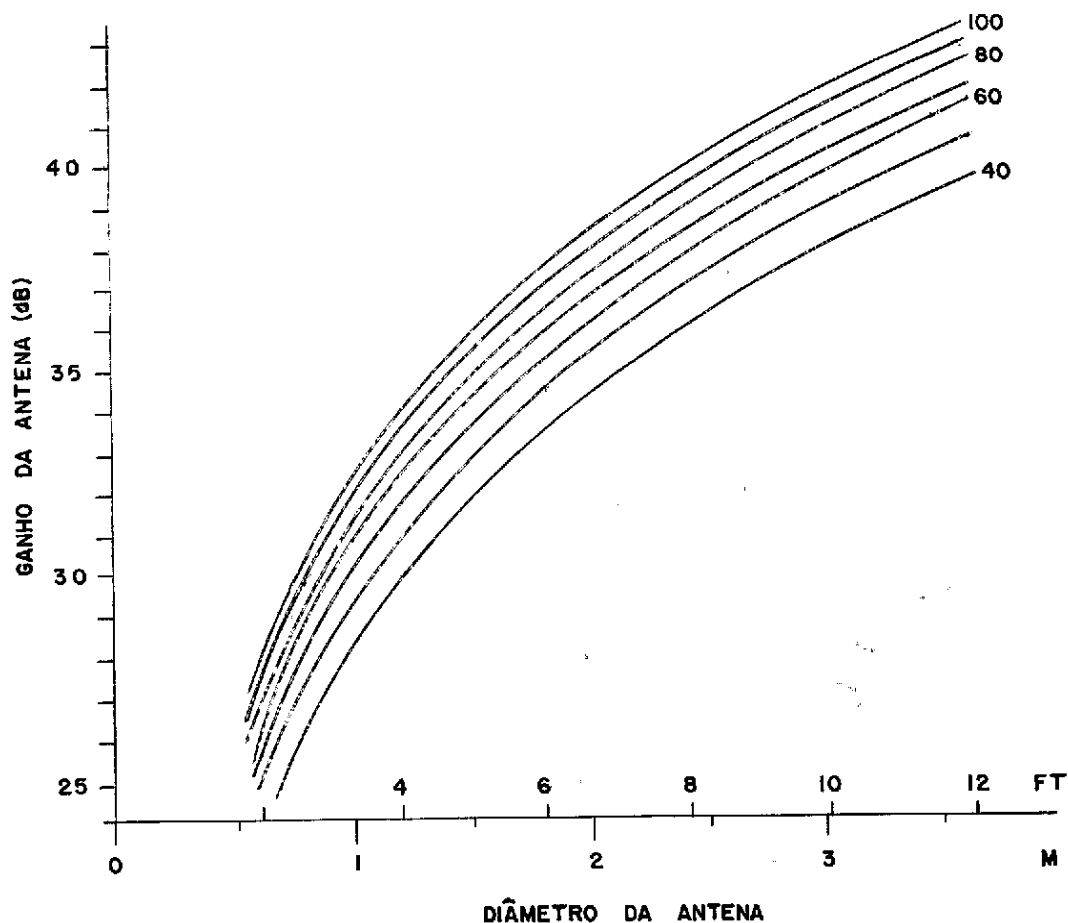


Fig. G-2 GANHO DE UMA ANTENA PARABÓLICA EM FUNÇÃO DO DIÂMETRO

onde

λ = comprimento de onda (metros)

d = diâmetro da antena (metros)

k = fator de eficiência

Este ganho pode ser reescrito em decibéis como:

$$G \text{ (dB)} = 9,96 + 20 \log (d) - 20 \log (\lambda) + 10 \log \left(\frac{k}{100} \right)$$

Destas equações pode-se concluir imediatamente que se em uma frequência específica o ganho é o fator crítico, ou o diâmetro ou a eficiência da antena podem ser aumentados para atingi-lo, (veja Fig. G-2). A escolha depende do custo relativo destas alternativas. Os fatores que reduzem a eficiência são

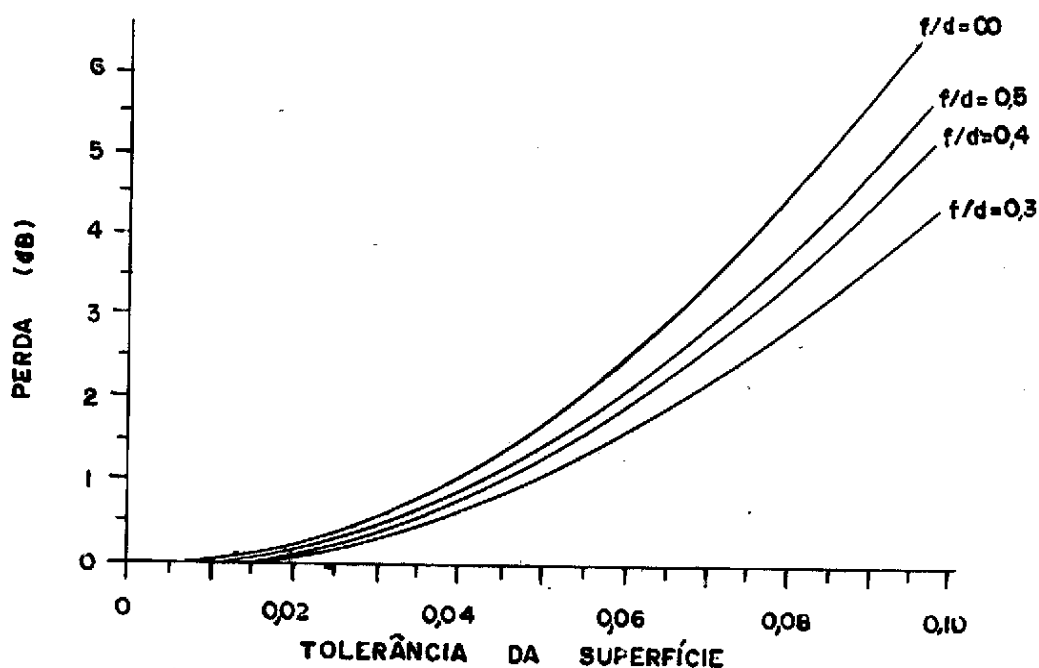


Fig. G-3 EFEITO DOS ERROS-RANDÔMICOS DEVIDO ÀS TOLERÂNCIAS DO ACABAMENTO DA SUPERFÍCIE

aquêles que impedem que a antena seja uma abertura uniformemente iluminada em amplitude e em fase. Eles também incluem perdas devido à transbordamento da radiação pelas bordas, energia polarizada transversalmente e outras perdas. Fez-se uma análise destas perdas e sua contribuição para a eficiência total foi considerada.

a. Erros de Fase

Os erros de fase são devidos à ausência de uniformidade de fase na boca de um parabolóide, causada por erros previsíveis e randômicos (3,4). Os erros previsíveis são aqueles causados por espalhamento e obstrução devidos ao alimentador primário e sua estrutura, e pela deflexão da parábola por ventos fortes constantes. Por outro lado, os erros randômicos são acidentais e causa

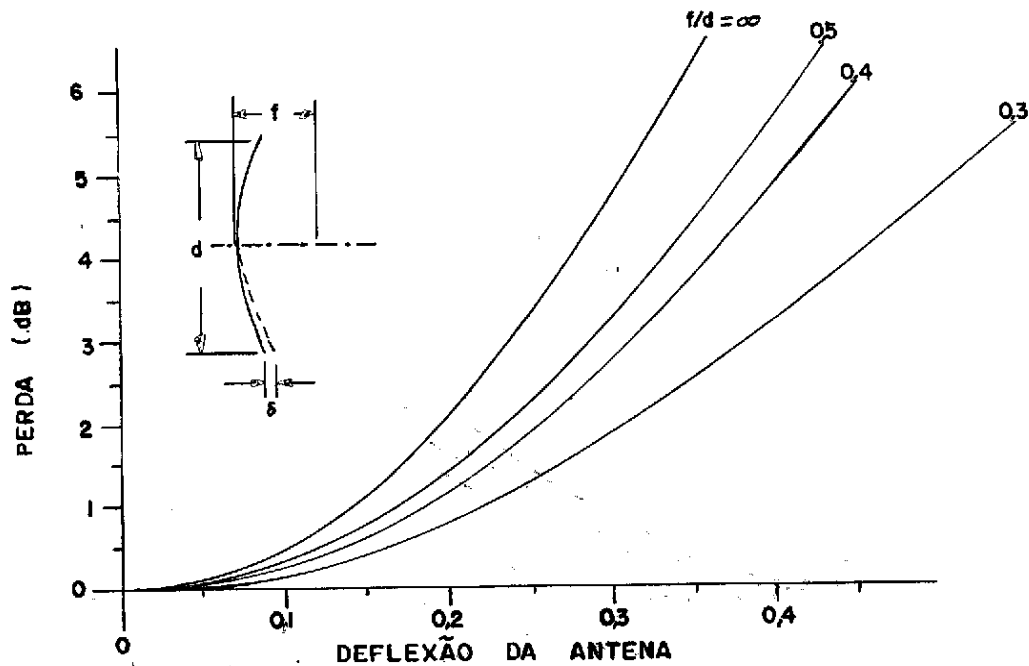


Fig. G-4. EFEITO DA DEFLEXÃO DA ANTENA NO GANHO

dos por defeitos da superfície do refletor. Para minimizar os erros de fase, é importante atacar a classe certa do erro. Os efeitos de erros randômicos devidos às tolerâncias do acabamento da superfície refletora são analisados e mostrados na Fig. G-3.

Tais tolerâncias são responsáveis por perdas entre 0,1 e 0,5 dB nas antenas de micro-ondas. Para refletores maiores, as tolerâncias da superfície tornam-se mais críticas e é necessário tomar cuidados especiais na fabricação.

Desevios devidos a erros na fabricação, distorção por forças do vento e translação do alimentador para uma posição diferente do ponto focal são erros sistemáticos e sua computação causa grandes problemas [1,2]. Uma das formas mais prováveis a ser esperada sob estas condições é mostrada na Fig. G-4, que dá

as perdas esperadas para uma máxima deflexão da borda. Qualquer deslocamento do alimentador para fora do foco do parabolóide causa erros de direcionamento do feixe e perdas que são funções da distância e da direção do deslocamento expresso em comprimentos de onda da frequência de operação. Se o alimentador for deslocado lateralmente de modo que o feixe sofra desvio angular i igual à sua própria abertura no ponto de meia potência, o diagrama de radiação da antena será deslocado para fora do satélite. Esta perda é mais séria que a perda de ganho devido à desfocalização.

b. Erros de Fase do Alimentador

O guia de onda misturador e a corneta não têm um centro bem definido para todos os ângulos de iluminação subtendidos entre o centro e a borda do refletor. Isto introduz um erro de fase que é maior na borda. Este erro é reduzido pelo uso de um refletor raso com alta relação f/d para reduzir o ângulo sólido subtendido entre a ponta do alimentador e a abertura do disco.

c. Efeitos de Obstrução da Abertura

Na alimentação Cassegrainiana há reflexão de energia, pelo lado posterior do sub-refletor e dos seus suportes, em direções aleatórias, que porisso é praticamente perdida. Na configuração Newtoniana, o próprio alimentador produz este efeito. A magnitude desta perda depende da razão por quociente entre abertura obstruída e abertura total. Este efeito pode ser calculado por:

$$\text{Redução de ganho (dB)} = 10 \log \left[1 - 2 \left(\frac{d_b}{d_m} \right)^2 \right]^2$$

onde d_b é o diâmetro da superfície bloqueadora e d_m é o diâmetro do refletor principal.

O projeto do tipo de alimentador só é importante sob este aspecto na medida em que o seu tamanho bloqueie uma parte maior ou menor da superfície refletora.

d. Perdas por Polarização Transversal

A energia pode ser irradiada com polarização incorreta devido ao formato do alimentador e do refletor parabólico. Esta energia com polarização transversal é perdida no que diz respeito à medida do ganho, portanto reduz a eficiência total da antena. Para refletores sólidos típicos a perda de ganho é da ordem de 0,1 a 0,2 dB. Pode-se obter um pequeno melhoramento com projetos diferentes de alimentadores circularmente polarizados.

e. Diminuição Gradual da Amplitude da Energia com a Proximidade da Borda e o Transbordamento

Para melhorar os primeiros lobos laterais e o transbordamento de energia pelas bordas, deve ser feita uma distribuição que vá enfraquecendo no sentido do centro para as bordas do refletor, embora pudesse parecer desejável iluminar a parábola uniformemente. Os requisitos conflitantes são mostrados na Fig. G-5 onde está claro que uma distribuição mais uniforme resulta em maior eficiência do refletor, porém com aumento considerável do transbordamento. Por outro lado, se a iluminação diminui para valores muito pequenos nas bordas, o transbordamento diminui, porém a eficiência também di-

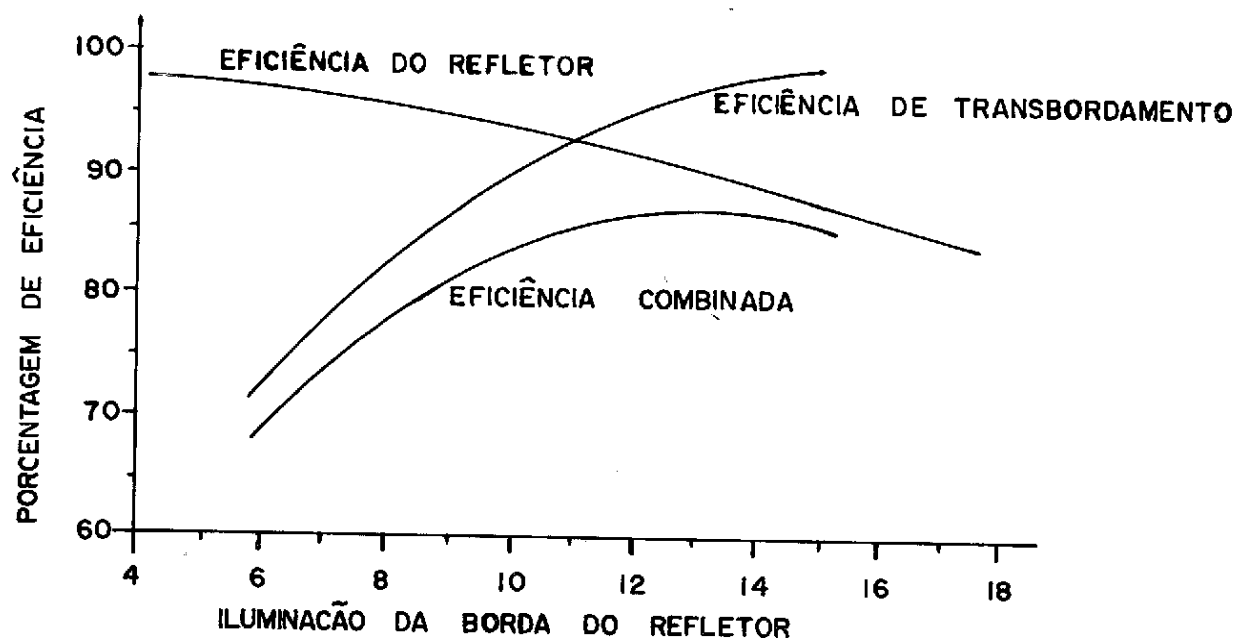


Fig. G-5. EFICIÊNCIA VERSUS ILUMINAÇÃO DA BORDA DO REFLETOR.

minui.

Um modo de obter uma distribuição mais uniforme da iluminação é usar uma configuração Cassegrain com um sub-refletor de forma apropriada [6]. A resultante iluminação diminuída na borda impede o transbordamento e o formato especial do sub-refletor transforma a distribuição em uma iluminação uniforme. A restrição de fase requer então um refletor principal de forma diversa da parabólica verdadeira.

f. Perda de Corrente

Este tipo de perdas ocorre sob a forma de perdas ômicas na superfície do refletor, são pequenas e independentes do tipo do alimentador.

REFERÊNCIAS

1. D. K. Cherry, e S. T. Mosely, "On Axis Defocus Characteristics of the Parabolic Reflector", IRE Trans. On Antennas and Propagation. Out. 1965.
2. B.A. Munk, "Far Field Pattern for Reflector Antenna with Displaced Feed", 14th Annual Symposium USAF Antenna Research and Development Program, Outubro 1964.
3. J. Ruze, "Antenna Tolerance Theory - A Review, "Proc. IEE, 54, 4, Abril 1966.
4. J. Ruze, "Physical Limitation on Antennas", Tech. Report nº 248, MIT Research Laboratory of Electronics, Outubro 1952.
5. G. Southworth, Principles and Applications of Waveguide Transmission, D. Van Nostrand, Inc. New York, 1950.
6. W. T. Williams, "High Efficiency Antennas Reflector, "Microwave J. Julho 1965.