1. Publicação nº	2. Versão	3. Data	5. Distribuição
INPE-3141-NTI/206		*Junho, 1984*	☒ Interna ☐ Externa ☐ Restrita

4. Origem	Programa
DIT/DII	*INTES*

6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es)
CABLAGEM DE SATÉLITES
INTERFACES ELÉTRICAS ENTRE S/S
AMARRAÇÃO E FIXAÇÃO DE CONDUTORES

7. C.D.U.: *629.783: 629.7.064.5*

8. Título *INPE-3141-NTI/206*

SUBSÍDIOS PARA A ELABORAÇÃO DO PROJETO DA CABLAGEM DE SATÉLITES

10. Páginas: *26*

11. Última página: *17*

12. Revisada por

Benjamim S.M.C. Galvão

9. Autoria *Stephan Stephany*
Mario Mammoli

13. Autorizada por

Nelson de Jesus Parada
Diretor Geral

Assinatura responsável

14. Resumo/Notas

Este trabalho faz considerações sobre a cablagem de equipamentos eletrônicos, enfatizando aquela referente a satélites. Aborda ainda aspectos de segurança, confiabilidade e montagem da cablagem.

15. Observações

ABSTRACT

This paper takes into consideration the electronic equiomont harness, in particular emphasizing those related to satellites. It also mentions safety, reliability, and assembly aspects of harness.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	*v*
LISTA DE TABELAS	*vii*
1 - INTRODUÇÃO	1
2 - DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA	1
3 - CRITÉRIOS E RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DA CABLAGEM	2
3.1 - CRITÉRIOS	2
3.2 - RECOMENDAÇÕES	3
4 - SEGURANÇA E CONFIABILIDADE	7
4.1 - INSPEÇÃO E TESTES	7
4.2 - CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO	8
4.3 - PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO	8
5 - DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DA CABLAGEM	8
5.1 - CONSTITUIÇÃO DA CABLAGEM	8
5.2 - AMARRAÇÃO DA CABLAGEM	9
5.3 - FIXAÇÃO DA CABLAGEM NA ESTRUTURA	10
5.4 - PROTEÇÃO MECÂNICA DA CABLAGEM	11
5.5 - EXEMPLOS DE CABLAGEM	12
6 - COMENTÁRIOS	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

LISTA DE FIGURAS

Pág.

1 - Exemplos de cablagem de equipamentos 13

2 - Exemplos de cablagem encaminhada junto à estrutura 15

3 - Exemplo de conexão de terminais de fios com placa de circuito impresso 17

LISTA DE TABELAS

Pág.

1 - Cabos e técnicas utilizadas para a cablagem 4

2 - Correntes e bitolas 6

1 - INTRODUÇÃO

A finalidade deste trabalho é mostrar as necessidades e os requisitos principais para realizar a cablagem de interconexão entre circuitos, equipamentos, subsistemas e sistemas eletrônicos. O objetivo principal é fornecer subsídios ao projeto da cablagem de equipamentos eletrônicos que são submetidos a esforços de vibração e choque a interferências eletromagnéticas e a condições térmicas especiais. Procura-se também identificar a documentação necessária, assim como os aspectos de segurança e confiabilidade, montagem e fixação. Abordam-se aspectos gerais de tal forma que possibilite um melhor conhecimento técnico para o projeto da cablagem do satélite brasileiro.

2 - DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA

A cablagem por objetivo de assegurar a interconexão elétrica entre os diversos circuitos, equipamentos ou subsistemas. Portanto, há necessidade de uma série de documentos que possibilitem o conhecimento total dos elementos a ser interligados.

De forma geral os documentos necessários são:

- Normas do tipo: MIL, ESA, NASA, ABNT, etc.
- Especificação do sistema.
- Especificação de cada subsistema.
- Especificação das interfaces entre os subsistemas.
- Especificação da confiabilidade eletromagnética dos subsistemas e sistema.
- Especificação do tipo de montagem e testes para a cablagem.
- Desenhos da configuração do sistema.
- Desenhos do diagrama elétrico da cablagem.
- Desenhos dos possíveis caminhos da fiação.
- Especificação das interfaces entre o sistema e os equipamentos de teste.
- Especificação e lista preferencial do material a ser utilizado na confecção da cablagem.

- Identificação, localização, tipos e características dos conectores.

Como documentação de suporte, em função da complexidade do sistema, podem-se citar documentos do tipo:

- Requisitos térmicos e mecânicos.
- Requisitos elétricos.
- Requisitos de qualidade e confiabilidade.
- Requisitos de limpeza.
- Requisitos de segurança.
- Requisitos para elementos pirotécnicos.
- Seleção e controle de material.
- Condições ambientais.
- Equipamentos de testes.

3 - CRITÉRIOS E RECOMENDAÇÕES PARA O PROJETO DA CABLAGEM

A seguir são mostrados os critérios e as principais recomendações para o projeto e montagem da cablagem.

3.1 - CRITÉRIOS

No projeto da cablagem devem ser considerados todos os itens relevantes visando a otimização do sistema. A seguir são relacionados critérios, cuja ordem de prioridade depende do objetivo a ser atingido, tais como:

- minimizar o peso;
- minimizar perdas de potência;
- evitar que fios classificados em grupos diferentes percorram um mesmo caminho;
- aterrar e blindar de acordo com as normas e documentos específicos;
- escolher adequadamente os fios e cabos de acordo com as características do sinal, das condições ambientais e da compatibilidade eletromagnética;

- considerar a degradação do desempenho em função da temperatura de regime;
- prover redundâncias para maior confiabilidade;
- prover facilidade de troca, em caso de reparo ou por motivo de confiabilidade dos elementos da cablagem;
- colocar o fio ou cabo de retorno no mesmo chicote, de preferência entrelaçado;
- prover dispositivos de proteção ao roçamento mecânico, a gradientes proibitivos de temperatura e à ocorrência de curto-circuito;
- utilizar materiais de qualificação militar ou espacial.

3.2 - RECOMENDAÇÕES

A seguir são dadas algumas considerações gerais úteis na elaboração do projeto (Abert, 1982).

Para um melhor desempenho, principalmente da cablagem de satélites, pode-se dividí-la em três grupos diferentes, ou seja:

1) sinais de alimentação,
2) sinais para dispositivos pirotécnicos,
3) sinais analógicos, sinais digitais e sinais de rádio-frequência.

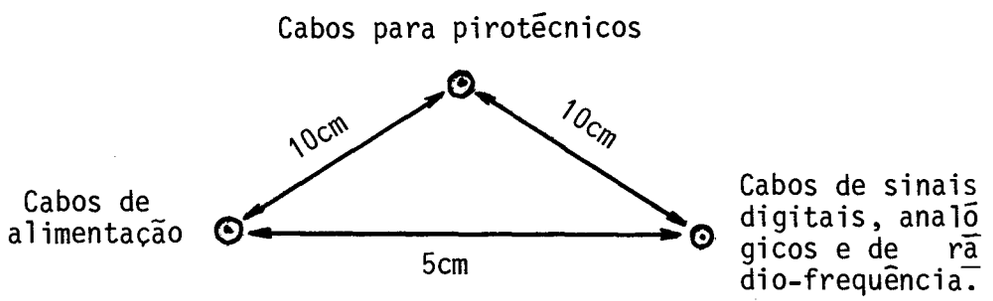
Para cada grupo há uma forma preferencial de realizar o chicote, considerando os diferentes tipos de cabos e visando a compatibilidade eletromagnética requerida, conforme é mostrado na Tabela 1.

TABELA 1

CABOS E TÉCNICAS UTILIZADAS PARA A CABLAGEM

TIPOS DE SINAIS	TIPOS DE CABOS
Alimentação	Cabos entrelaçados
Pirotécnico	Cabos blindados e entrelaçados
Analógico	Cabos blindados
Digital	Cabos blindados
Rádio-frequência	Coaxial

Caso os cabos de diferentes tipos passem por caminhos iguais, é aconselhável observar as seguintes distâncias entre eles (Abert, 1982):



Portanto, para cabos de sinais digitais, analógicos e de rádio-frequência não há necessidade de observar distâncias consideráveis.

Para comprimentos menores que 50 cm, os cabos de alimentação e de sinais digitais, analógicos e de rádio-frequência podem fazer parte do mesmo chicote, especialmente quando estes fizerem parte do mesmo conector do equipamento.

Normalmente não deve ser utilizado condutor com bitola menor que 26 AWG (Fabre, 1979).

A Tabela 2 mostra a corrente para cada bitola, no caso de uma temperatura final de aproximadamente 50°C acima da temperatura ambiente no vácuo. Deve-se tomar cuidado para que a temperatura total não exceda a temperatura de operação contínua do fio (Abert, 1982).

A corrente através de um condutor em um cabo é primeiramente função da temperatura que pode ser tolerada pelo cabo. A temperatura por sua vez depende da densidade de potência dissipada que é função das perdas (ohmicas) no condutor, a partir do nível de corrente e da resistência do condutor.

A temperatura final do cabo também depende da forma da seção condutora e de sua capacidade de dissipação.

O dimensionamento de um cabo pode ser realizado em função da máxima perda de potência ou da máxima queda de tensão permissível.

Normalmente, utiliza-se para cálculo a máxima queda de tensão permissível. No entanto, para cablagem de distribuição, deve-se projetá-la de tal modo que sua dissipação de potência seja menor que 1% da potência total (Abert, 1982).

Sabendo qual a corrente a ser utilizada e a máxima queda de tensão permissível, pode-se através de cálculos determinar qual deve ser a bitola do fio ou cabo necessária. No entanto, pode-se utilizar ábacos (Abert, 1982) que, além de facilitar a determinação da bitola, dispensam cálculos adicionais.

TABELA 2

CORRENTES E BITOLAS

BITOLA (AWG)	CORRENTE MÉDIA (A)		CORRENTE PULSADA (A)
	CABO	FIO SIMPLES	
12	11,5	25,0	não é usado
20	3,7	6,5	5
22	2,5	4,5	4
24	2,0	3,3	2
26	1,4	2,5	1,5

Outros parâmetros importantes de cablagem são:

- isolação,
- blindagem,
- aterramento.

A isolação deve ser da ordem de 100 μΩ entre o condutor e sua blindagem, e esta deve cobrir pelo menos 90% do condutor. Quanto ao aterramento, deve-se utilizar a técnica mais apropriada, minimizando:

- malhas de retorno,
- tensão de modo comum.

Para o aterramento, recomenda-se que a caixa de cada sub sistema seja conectada à estrutura principal do sistema, e a resistência DC da conexão seja menor que 10 mΩ para 1 A (Abert, 1982).

Quanto ao chicote de sinais pirotécnicos, deve-se seguir preferencialmente a "Military Standard 1512" e tomar cuidado especial

quanto à segurança, minimizando:

- descargas eletrostáticas,
- campos eletromagnéticos,
- tensões induzidas.

4 - SEGURANÇA E CONFIABILIDADE

Por ser a cablagem a responsável pelo fluxo de sinais entre os diversos subsistemas, seu desempenho é um fator crítico e decisivo para o bom funcionamento do sistema.

Com o objetivo de obter índices significativos de segurança e confiabilidade, deve-se prover procedimentos rigorosos para sua aceitação.

4.1 - INSPEÇÃO E TESTES

Para obter os níveis desejados de confiabilidade, a cablagem deve passar por testes de inspeção e qualificação compatíveis com sua finalidade e com os níveis ambientais de operação.

Normalmente, a cablagem como subsistema passa pelos testes de inspeção visual, de isolação e continuidade, enquanto, quando integrada ao sistema, os testes são:

- inspeção visual,
- medidas físicas,
- desempenho elétrico,
- vibração,
- térmicos e de vácuo,
- interferência e compatibilidade eletromagnética.

Para os testes de isolação e continuidade, deve-se preferencialmente prover um equipamento específico e automático.

4.2 - CRITÉRIOS DE ACEITAÇÃO

Todas as falhas que ocorrem durante os testes são consideradas relevantes do ponto de vista da confiabilidade, a menos que as falhas ocorridas sejam decorrentes de:

- avaria acidental;
- erro de instalação, se encontrada no início dos testes;
- falha do equipamento de teste, ou equipamento descalibrado;
- erro do operador ou realização de teste fora de especificação.

4.3 - PROCEDIMENTOS DE CALIBRAÇÃO

Para evitar falhas por equipamentos não-calibrados, deve-se realizar um plano de ajustes periódicos e criar procedimentos inerentes a cada calibração dos equipamentos utilizados.

Normalmente, os procedimentos de calibração são encontrados em normas ou no manual técnico do equipamento, fornecido pelo fabricante. Para que a calibração seja efetuada de uma forma eficiente, deve-se possuir condições ambientais e equipamentos padrões, além de uma equipe especializada neste tipo de trabalho.

5 - DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS DA CABLAGEM

A definição da cablagem inclui a seleção e o agrupamento dos vários condutores associados e seus respectivos isolantes, além de elementos com função de manter a cablagem amarrada, de fixá-la na estrutura e de protegê-la mecanicamente. Estes elementos de amarração, fixação e proteção objetivam evitar esforços mecânicos ou danos à cablagem, garantindo o grau de confiabilidade requerido.

5.1 - CONSTITUIÇÃO DA CABLAGEM

A cablagem de uma forma geral é constituída de cabos (blindados, coaxiais, triaxiais), fios, feixes de fios formando chicotes e

chicotes amarrados formando troncos. Essa distribuição deverá ser a mais simples e racional possível, baseada nos caminhos os mais curtos possível escolhidos para a cablagem.

A cablagem deverá ser amarrada, fixada, devendo correr sempre junto a uma superfície e estar protegida, tanto mecânica como termicamente. A amarração e fixação, na estrutura, dos fios, chicotes e cabos objetivam evitar alterações das características dos isolantes e condutores, causados por esforços decorrentes das acelerações ou vibrações sofridas pela estrutura.

Deve-se também prover a mobilidade necessária para eventuais desacoplamentos de conectores ou de fios, chicotes e cabos em outros elementos terminais, assim como no caso de partes de cablagem que corram junto a superfícies móveis articuladas entre si, onde é preciso um jogo, de modo que os fios não travem ou interfiram no movimento, o que acarretaria a transmissão de esforços mecânicos indesejáveis.

Visando evitar danos por dobramento excessivo de elementos da cablagem, recomendam-se os seguintes raios mínimos de curvatura, expressos em função dos diâmetros dos elementos (CNES, 1976).

- fios simples ou trançados: $R = 2 \times \emptyset$,
- cabo blindado ou coaxial: $R = 5 \times \emptyset$,
- chicotes: $R = 3 \times \emptyset$ (não podendo ser inferior ao raio mínimo do menor cabo blindado ou coaxial),

$\emptyset$: diâmetro

5.2 - AMARRAÇÃO DA CABLAGEM

A amarração é necessária para manter coesos os feixes de fios que constituem os chicotes. O intervalo entre os pontos de amarração (passo de amarração) é estabelecido pelas normas em função de diâmetro de chicote, mas deve-se prover pontos de amarração nos seguintes casos:

- imediatamento antes de pontos de distribuição de fios que deixam o chicote;

- antes e depois de qualquer elemento (fusível, capacitor, etc.) com o qual um fio, que faça parte do chicote, esteja interconectado.

Nesses casos, deve-se escolher um passo conveniente para que hão haja uma proximidade desnecessária entre pontos de amarração.

Para a amarração, dependendo do caso, podem-se utilizar:

a) Fitas de amarração: Estas fitas, de largura superior a 1mm, são fixadas por meio de laços ou nós, podendo aparecer em pontos discretos igualmente espaçados ou ser contínuas. Esta técnica de amarração é utilizada em chicotes de pequeno diâmetro ou no interior de equipamentos.

b) Luvas termo-retráteis: São luvas plásticas de diâmetros apropriados aos dos chicotes, que sendo aquecidas por um jato de ar quente contraem-se permanentemente, pressionando o feixe de fios. Utilizam-se na amarração de fios rígidos, na junção de chicotes com elementos terminais, tais como conectores, e na proteção mecânica do chicote.

c) Braçadeiras plásticas: Possuem tamanhos apropriados para cada diâmetro de chicote, sendo autotratáveis pela sua face dentada. São utilizadas em chicotes de grande diâmetro e na amarração dos troncos.

5.3 - FIXAÇÃO DA CABLAGEM NA ESTRUTURA

O passo de fixação é estabelecido pelas normas, sendo desejável evitar que os pontos de fixação coincidam com os de amarração. Geralmente, usam-se os seguintes dispositivos de fixação:

a) Braçadeiras plásticas autotraváveis ou braçadeiras metálicas associadas a bases de fixação coladas ou parafusadas na superfície de fixação, devendo os parafusos serem adequadamente trava

dos. São utilizadas em chicotes de grande diâmetro, sendo as metálicas recomendadas para casos em que a fixação deve suportar esforços maiores.

b) Braçadeiras em plástico ou metal travadas e fixadas pelo mesmo parafuso, que também deve ser travado.

c) Braçadeiras plásticas ou metálicas em U, parafusadas ou coladas dos dois lados. No caso da braçadeira plástica, deve-se fechar o anel em torno do elemento da cablagem, completando-se o U com uma lâmina do mesmo plástico.

d) Fitas de amarração transpassadas em furos (chanfrados) efetuados na superfície de fixação. Usam-se em chicotes de pequeno diâmetro.

e) Colagem direta, na superfície de fixação, de fios e pequenos chicotes.

5.4 - PROTEÇÃO MECÂNICA DA CABLAGEM

Preferencialmente, deve ser feita por meio de luvas termoretráteis. No entanto, devido ao caráter irreversível deste tipo de fixação, pode-se proceder ao enluvamento com uma capa removível, para atender operações de integração ou testes, com posterior uso de luvas termoretráteis. Recomenda-se proteger a cablagem nos seguintes pontos:

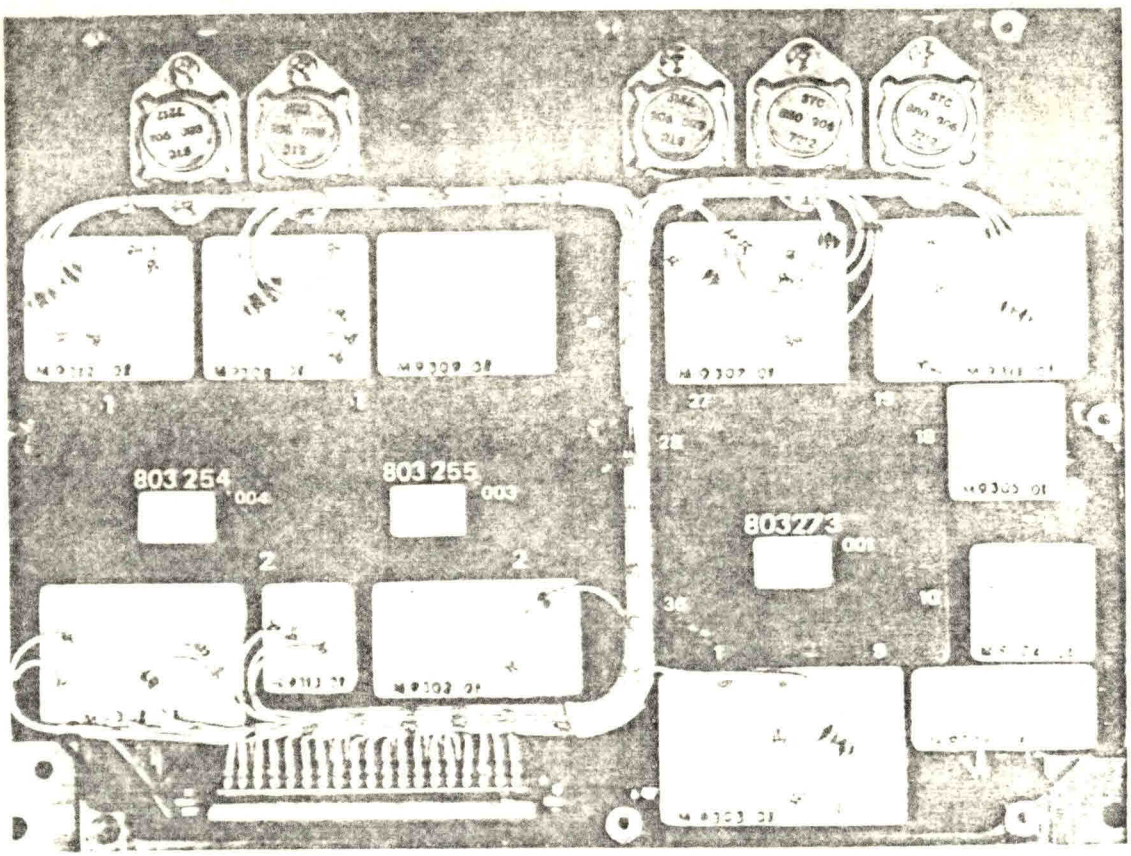
- proximidade de elementos metálicos cortantes ou com bordas salientes,
- proximidade de parafusos,
- proximidade de elementos removíveis ou reguláveis,
- pontos de fixação com braçadeiras metálicas (circulares ou em U),
- proximidade de partes móveis ou casos em que elementos da cablagem estejam fixados em superfícies articuladas entre si,
- casos em que o elemento da cablagem deva transpassar paredes metálicas.

No caso de elementos da cablagem transpassando paredes metálicas com espessuras consideráveis, é suficiente o chanframento das bordas do furo, podendo ser complementado pelo enluvamento. Para paredes de pequena espessura, utilizam-se anéis plásticos protetores.

Embora o encaminhamento da cablagem evite pontos quentes, quando isto for inevitável pode-se recorrer a luvas termicamente isolantes, para a necessária proteção térmica da cablagem.

5.5 - EXEMPLOS DE CABLAGEM

A seguir, as Figuras 1, 2 e 3 ilustram partes da cablagem de um satélite.



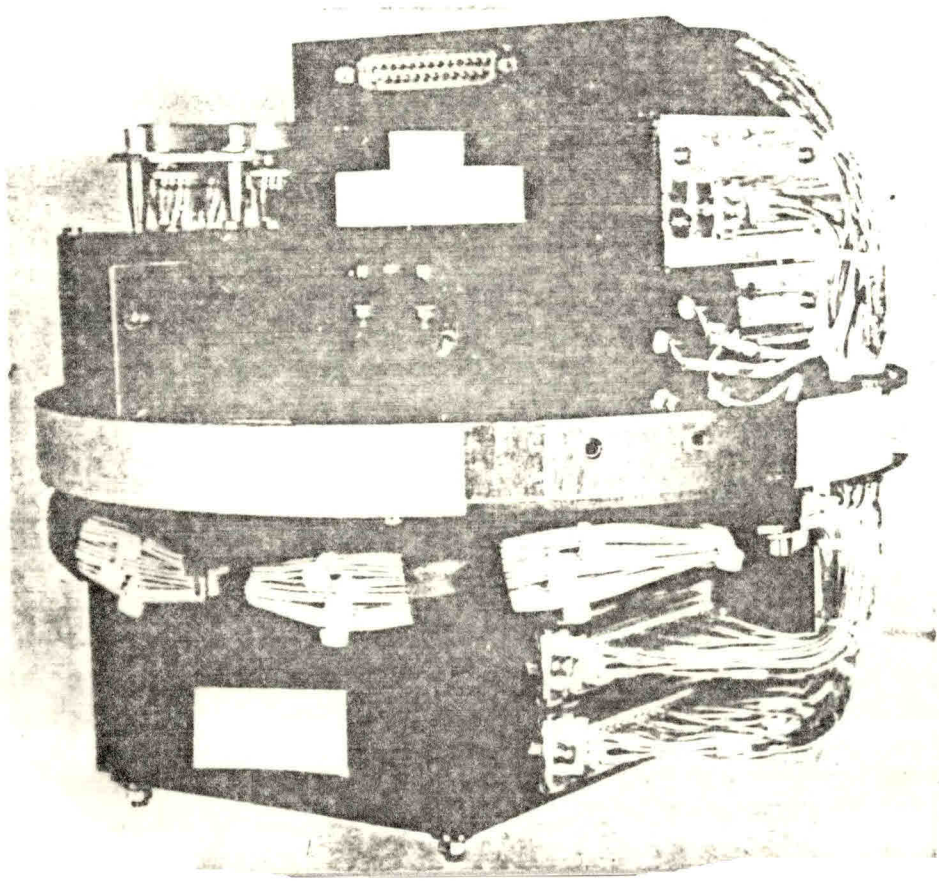


Fig. 1 - Exemplos de cablagem de equipamentos
Fonte: CNES (1976)

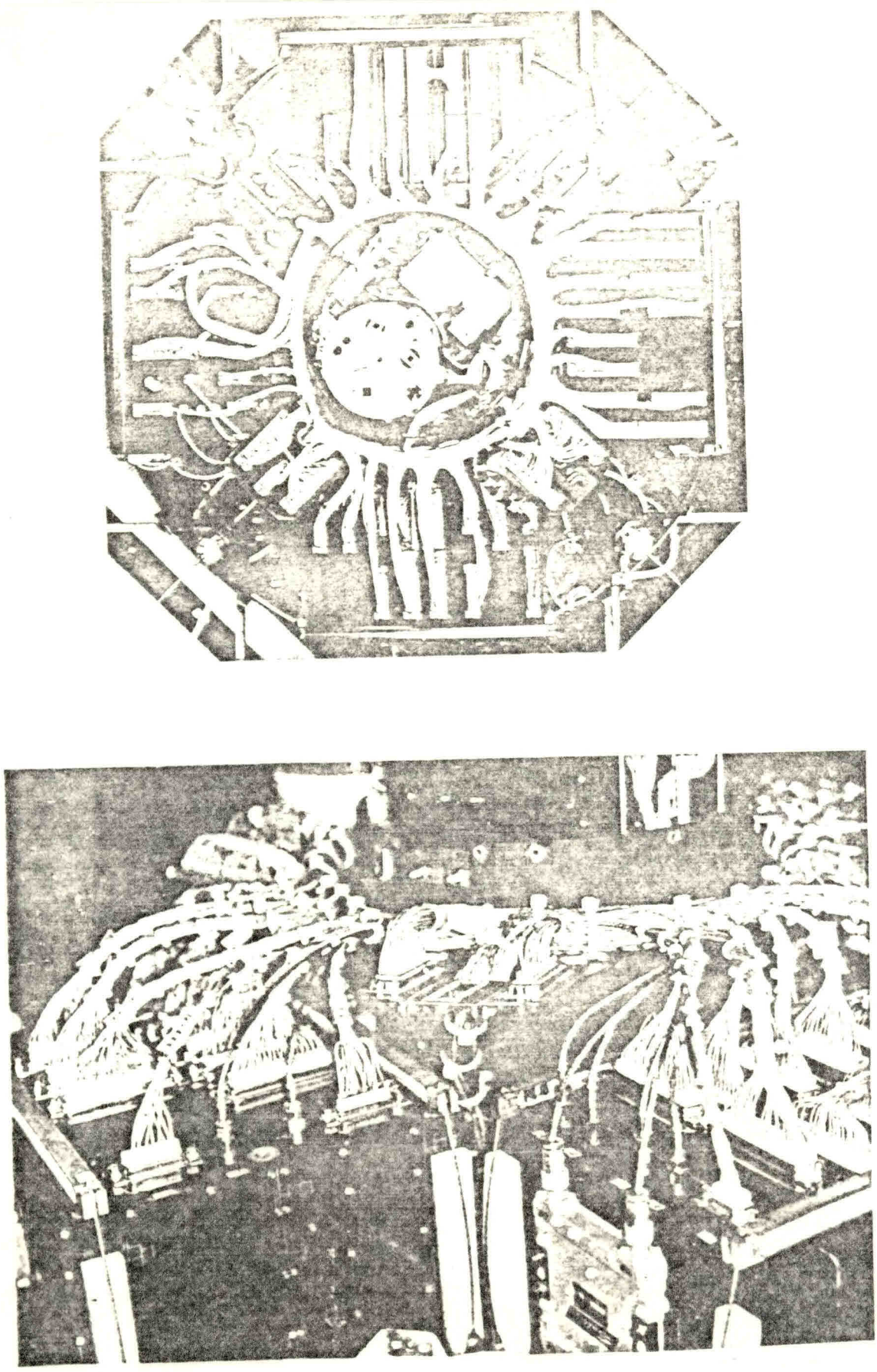


Fig. 2 - Exemplosde cablagem encaminhada junto a estrutura
Fonte: CNES (1976)

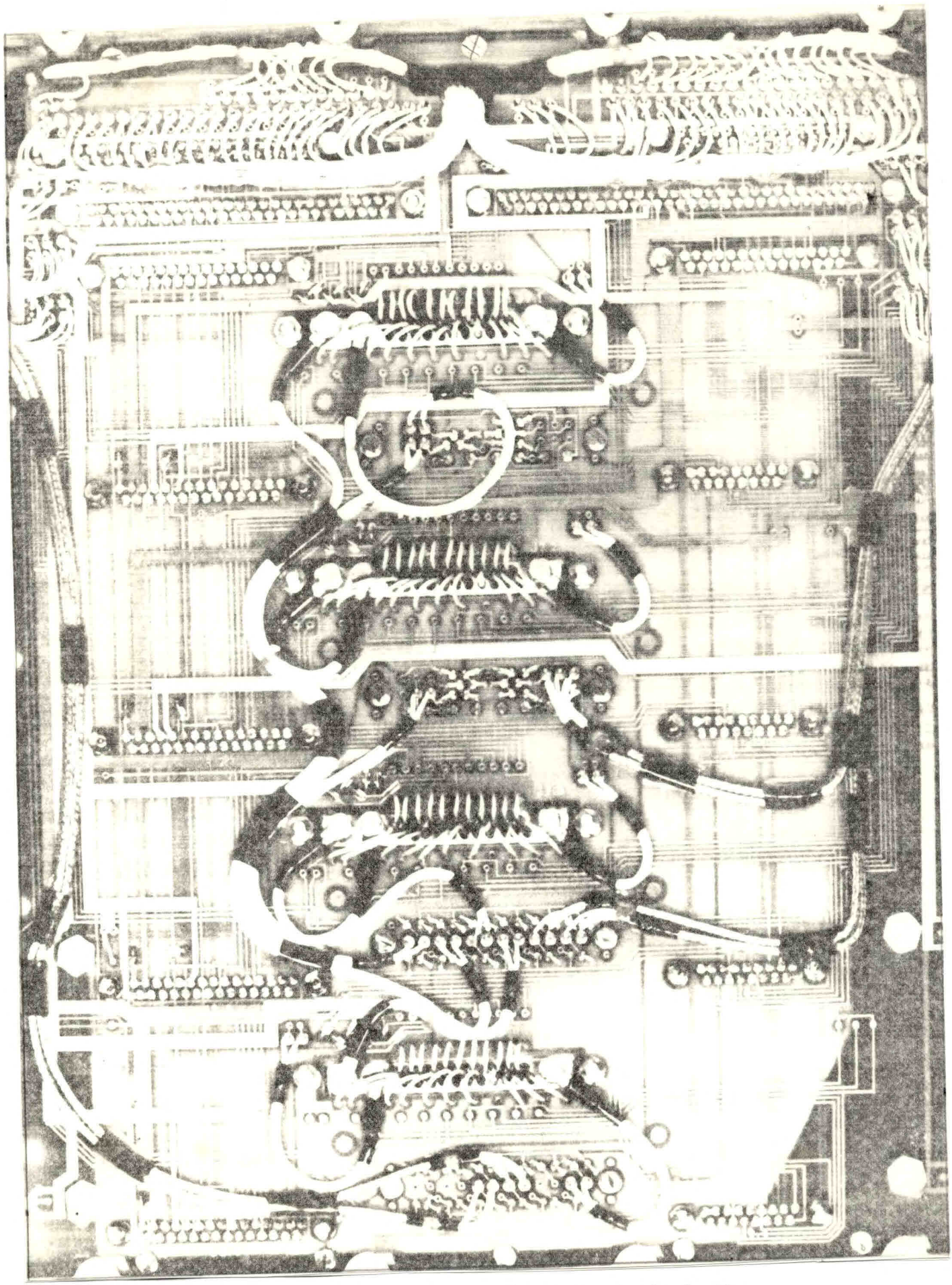


Fig. 3 - Exemplo de conexão de terminais de fios com placa de circuito impresso.
Fonte: CNES (1976)

6 - COMENTÁRIOS

Os tópicos apresentados têm a finalidade de identificar, ainda que de forma preliminar, aspectos básicos e fundamentais, necessários para o projeto, desenvolvimento e testes de cablagens para a interligação dos diversos subsistemas de um satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Cannes, Aerospatiale, Sept. 1982.

CENTRE NATIONAL D'ETUDES SPATIALES (CNES). *Technologie des equipments electroniques* - Specification de Conception des Interconnexions Filaires. [Toulouse] Juil. 1976.

FABRE, M. *Harness housekeeping and I.R. Thermal regulator specification* - Meteosat Operational Programme. Cannes, Aerospatiale, Oct. 1979.