

1. Publicação nº <i>INPE-4328-NTI/278</i>	2. Versão	3. Data <i>Set., 1987</i>	5. Distribuição <input checked="" type="checkbox"/> Interna <input type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem <i>LIT/VIT</i>	Programa <i>MECB</i>		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) <i>BANCO DE TESTE, SISTEMA DE COMUNICAÇÕES, MÉTODOS DE TESTE.</i>			
7. C.D.U.: <i>629.783:621.39</i>			
8. Título <i>INPE-4328-NTI/278</i> <i>SISTEMA DE COMUNICAÇÕES DO BANCO DE TESTE</i> <i>MÉTODOS DE MEDIÇÃO</i>		10. Páginas: <i>78</i>	
		11. Última página: <i>69</i>	
		12. Revisada por  <i>Mario Mammoli</i>	
9. Autoria <i>Adalberto Coelho da Silva Júnior</i>		13. Autorizada por  <i>Marco Antonio Haupp</i> <i>Director-Geral</i>	
Assinatura responsável 			
14. Resumo/Notas  <i>Descrevem-se neste trabalho os métodos de medição a serem implementados no Sistema de Comunicações do Banco de Teste da Missão Espacial Completa Brasileira. Apresentam-se também considerações sobre o aterramento e a blindagem de conjuntos de medição.</i>			
15. Observações			

ABSTRACT

*The measurement methods to be implemented at the communication module of the Checkout Station of the Brazilian Complete Space Mission are described. The grounding and shielding aspects of measurement sets are also introduced.*



## SUMÁRIO

	Pág.
<u>LISTA DE FIGURAS</u> .....	<i>vii</i>
<u>GLOSSÁRIO</u> .....	<i>ix</i>
1 - <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2 - <u>MEDIÇÕES NA FAIXA DE RADIOFREQUÊNCIA (RF) DE 400 MHz A 13 GHz.</u>	1
2.1 - Considerações gerais .....	1
2.2 - Medições de potência .....	2
2.2.1 - Características gerais .....	2
2.2.2 - Ganho ou atenuação .....	7
2.2.3 - Nível de potência de transmissão ou recepção .....	10
2.3 - Medições de ruído .....	12
2.3.1 - Características gerais .....	12
2.3.2 - Figura de ruído ou temperatura de ruído .....	21
2.4 - Medições de frequência .....	24
2.4.1 - Características gerais .....	24
2.4.2 - Frequência ou tempo .....	25
2.4.3 - Ruído de fase .....	28
2.5 - Medições de distorção, modulação e intensidade de campo ....	35
2.5.1 - Distorção .....	35
2.5.2 - Modulação .....	40
2.5.3 - Intensidade de campo .....	43
2.6 - Medições de transmissão e reflexão em redes lineares .....	46
2.6.1 - Características gerais .....	46
2.6.2 - Parâmetros "S" .....	49
2.6.3 - Medições de transmissão: perda/ganho de inserção, coeficiente de transmissão, atraso de grupo .....	55
2.6.4 - Medições de reflexão: perda de retorno, SWR, coeficiente de de reflexão, impedância/admitância .....	59
3 - <u>ATERRAMENTO E BLINDAGEM DE CONJUNTOS DE MEDIÇÃO</u> .....	61
3.1 - Considerações gerais .....	61
3.2 - Blindagem .....	63
3.3 - Aterramento .....	63

	Pág.
3.4 - Procedimentos básicos para aterramento/blindagem .....	64
4 - <u>INCERTEZA NAS MEDIÇÕES: FONTES DE ERROS E PRECAUÇÕES</u> .....	66
4.1 - Fontes de erros .....	66
4.2 - Precauções .....	67
5 - <u>BIBLIOGRAFIA</u> .....	69

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1 - Termopar: princípio de funcionamento .....	3
2 - Configuração básica para medições de potência .....	5
3 - Configuração de teste: ganho/atenuação - CT 1 .....	8
4 - Configuração de teste: nível de potência de transmissão ou recepção - CT 2 .....	11
5 - Figura de Ruído: definição .....	16
6 - Figura de Ruído: sistemas em cascata .....	17
7 - Temperatura de Ruído: definição .....	19
8 - Configuração básica para medições de ruído .....	20
9 - Determinação da figura de ruído: método dos dois pontos .....	21
10 - Configuração de teste: figura ou temperatura de ruído - CT 3 ..	23
11 - Configuração de teste: frequência - CT 4 .....	26
12 - Ruído de fase: detecção por quadratura de fase .....	30
13 - Configuração de teste: ruído de fase - CT 5 .....	32
14 - Configuração de teste: distorção harmônica - CT 6 .....	37
15 - Analisador de espectro: faixa livre de espúrios .....	39
16 - Configuração de teste: modulação - CT 7 .....	42
17 - Configuração de teste: intensidade de campo - CT 8 .....	45
18 - Redes lineares: medições de transmissão/reflexão .....	47
19 - Redes lineares: configuração básica .....	50
20 - Parâmetros "S": configuração básica .....	51
21 - Parâmetros "S": definição $S_{11}$ e $S_{21}$ .....	53
22 - Parâmetros "S": fluxograma (acoplador de sinais) .....	54
23 - Configuração de teste: parâmetros "S" - CT 9 .....	56
24 - Ruídos por acoplamento: impedância comum .....	62
25 - Aterramento em um único ponto .....	65



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

- CW - Continuous wave - onda senoidal contínua, para a qual os termos potência média e potência de RF são iguais.
- DST - Dispositivo sob teste.
- LNA - Low noise amplifier - amplificador de baixo ruído.
- $T_s$  - Temperatura absoluta de ruído da fonte que excita o DST.
- $N_p$  - Potência de ruído na saída do DST.
- $Z_s$  - Impedância da fonte que excita o DST.
- $T_h$  - T (hot), temperatura absoluta de ruído, gerada por um diodo a avalanche.
- $T_o$  - Temperatura absoluta de ruído de uma fonte 290<sup>o</sup>K ( $T_h > T_o$ ).
- ENR - Excess noise ratio =  $10 \log \frac{T_h - T_o}{T_o}$  .
- K - Constante de Boltzman =  $1.38 \cdot 10^{-23}$  joules/kelvin.



## 1 - INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo descrever os métodos de medição a serem utilizados no sistema de comunicações do Banco de Teste do Laboratório de Integração e Testes da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB).

Para a execução do objetivo acima referido, apresentam-se na Seção 2 os métodos usuais de medição dos principais parâmetros utilizados para qualificar os sistemas de comunicações que operam na faixa de 400 MHz a 13 GHz.

Na Seção 3 apresentam-se apreciações relativas ao aterramento e à blindagem dos conjuntos de medição, relacionando-se medidas na realização destes itens.

Na Seção 4 são feitas considerações quanto aos cuidados imprescindíveis na realização dos testes para a obtenção de medidas precisas.

## 2 - MEDIÇÕES NA FAIXA DE RADIOFREQUÊNCIA DE 400 MHz A 13 GHz

### 2.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Um sistema de medição é a combinação de instrumentos que operam em conjunto para medir, documentar e às vezes analisar os resultados. A implementação de tal sistema pode ser: manual (qualquer correção ou ajuste é feito por um operador) ou automática (o sistema é configurado e controlado por computador, onde o operador apenas insere o dispositivo a ser testado, opera o computador e lê os resultados).

Neste capítulo são descritas basicamente as implementações manuais, mesmo considerando que os aparelhos possam apresentar condições de controle e configuração remota, via computador, pois a implementação automatizada é essencialmente a passagem para uma linguagem de programação adequada dos procedimentos manuais. Apresenta-se em cada

linguagem de montagem uma possível interligação com um controlador que possibilitará a automatização das medidas, quando for o caso.

## 2.2 - MEDIÇÕES DE POTÊNCIA

### 2.2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

- 1) Em toda a faixa de frequência da técnica de radiocomunicação e radiodifusão, é necessário medir pequenas, médias e grandes potências. A quantificação exata de tais níveis é extremamente importante no projeto e qualificação de dispositivos, e equipamentos ou sistemas, já que cada um destes elementos deve receber um nível de potência apropriado e transmiti-lo adequadamente aos dispositivos, equipamentos ou subsistemas seguintes. Caso o nível de sinal se torne muito baixo, o ruído poderá mascará-lo. Se, por sua vez, o nível aumentar excessivamente, isto poderá acarretar distorções.

Quando se trabalha em baixa frequência (abaixo de 100 KHz), utilizam-se medidas de voltagem, corrente e fator de potência para quantificar o nível de sinal; quando a frequência aproxima-se de 1 GHz, medidas de potência baseadas nos parâmetros acima referidos começam a perder o significado. Uma das razões é que a voltagem e a corrente variam ponto a ponto ao longo de uma linha de transmissão sem perda, enquanto a potência se mantém constante. Outro exemplo seria que, em guias de onda, onde a voltagem e a corrente são difíceis de definir e imaginar. Por tais razões, na faixa de microondas o fluxo de potência é o parâmetro mais empregado, de maior compreensão e mais útil que a voltagem ou a corrente como parâmetro fundamental na medida de potência.

- 2) Existem na faixa de microondas três métodos básicos para medir a potência; cada um deles utiliza um determinado dispositivo: termopares, bolômetros ("barretters" e "thermistors") e

diodos detetores. Os dois primeiros são dispositivos sensíveis ao calor gerado pela energia de RF presente em um determinado circuito, enquanto o último, através de suas propriedades de retificação, converte a energia de RF em CC. Cada método tem suas vantagens, desvantagens e áreas de aplicação dentro do espectro de potência (baixa  $\leq 1\text{mW}$ , média  $1\text{mW} \leq P \leq 10\text{W}$  e alta  $P > 10\text{W}$ ), assim como características específicas:

- a) Termopares: são dispositivos formados de dois fios de diferentes metais, operando em diferentes temperaturas. Esta diferença de temperatura produz uma voltagem proporcional, como pode ser visto na Figura 1.

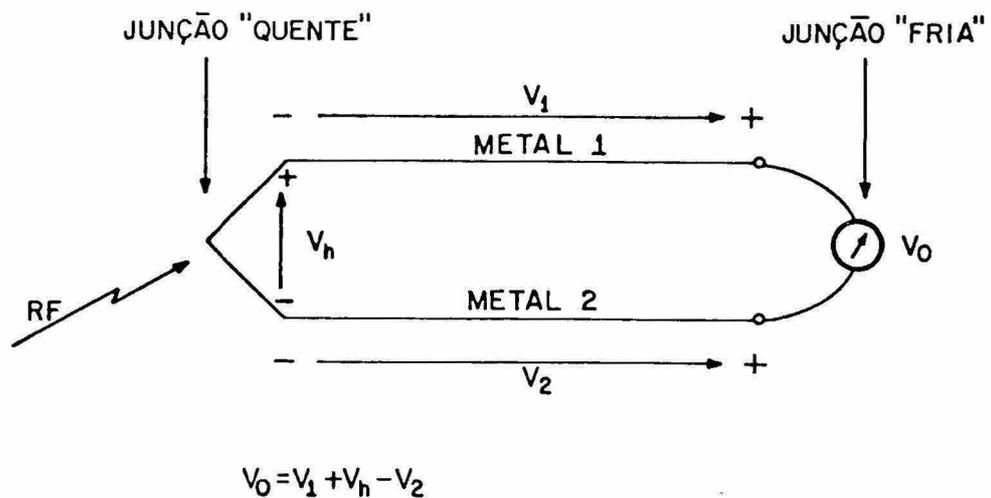


Fig. 1 - Termopar: princípio de funcionamento

Utiliza-se tal dispositivo para medir o aumento de temperatura em uma carga, sujeita à energia de RF. Através de uma calibração apropriada a variação de temperatura é convertida em uma indicação de potência.

Os termopares possuem excelente sensibilidade, são especialmente utilizados em monitores de potência e têm suas principais áreas de ação na faixa de baixa e média tensão.

b) Bolômetros: são sensores de potência nos quais há uma variação de temperatura, resultante da conversão da energia RF em calor, dentro do elemento bolométrico, apresentam uma variação de resistência.

Existem dois tipos principais de bolômetros:

- "barretter": que em um fio fino e curto, normalmente de platina, que apresenta coeficiente de temperatura positivo e usualmente tem sua faixa de operação entre 50 e 400Ω.
- "termistor": é um semiconductor usualmente composto de óxidos de manganês, níquel, cobre e outros metais, que apresenta coeficiente de temperatura negativo, sendo um dispositivo mais flexível que o "barretter", já que apresenta uma faixa de operação mais ampla.

Os dois dispositivos podem ser utilizados para medir potência da ordem de microwatts, desde que convenientemente utilizados em circuitos do tipo ponte Wheatstone.

c) Diodos Detetores: estes dispositivos, através de suas propriedades retificadoras, a partir de características não-lineares de corrente versus voltagem, convertem energia RF em CC. Atualmente são usados diodos Schottky, por serem aproximadamente 3000 vezes mais eficientes na conversão de energia de RF em CC que os termopares. Através destes dispositivos é possível medir potências da ordem de -70 dBm (100 pW), numa faixa de frequência até 18 GHz.

3) A configuração básica para medidas de potência na faixa de microondas está apresentada na Figura 2.

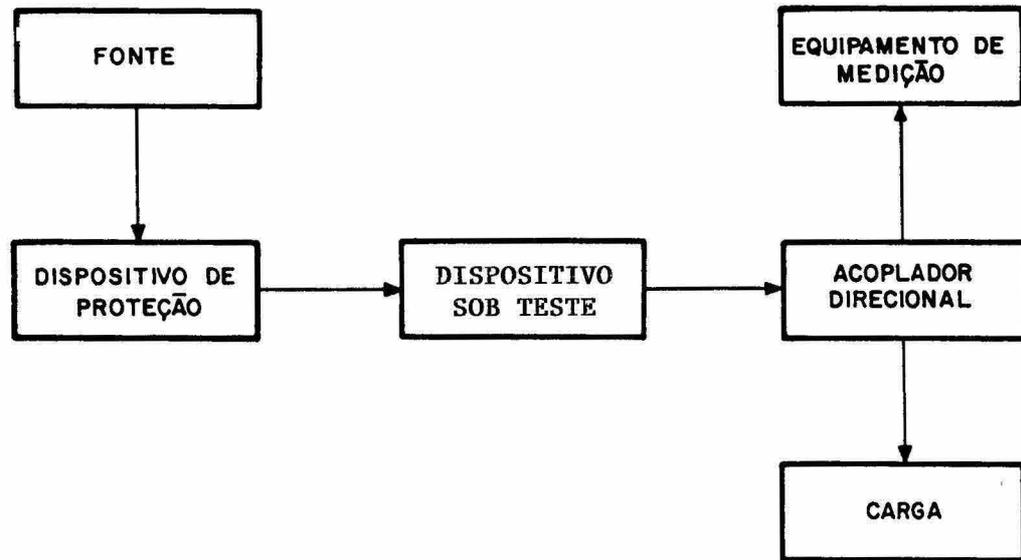


Fig. 2 - Configuração básica para medições de potência.

Os elementos apresentados são os usualmente utilizados em tais medidas, quais sejam:

- fonte (gerador), cuja escolha adequada vai depender basicamente do nível de potência e do tipo de medição desejados;
- dispositivos de proteção: que poderá ser um isolador, um circulador ou um atenuador;
- acoplador direcional: que provê a monitoração desejada do sinal, usualmente utilizado até o nível de 10 dBm (10 mW),

já que a maioria de seus componentes sensíveis são projetados para operar até aproximadamente este nível;

- DST: que é o dispositivo (sistema, subsistema, equipamento, etc.) sob teste;
  - carga (terminação): que é utilizada para possibilitar um bom casamento de saída para o sistema;
  - equipamento de medição: que normalmente é um medidor de potência (HP 436 A), onde para efeito de simplificação do diagrama, estão sendo embutidos os sensores de potência.
- 4) Nas medições de potência, assim como em quase todas as realizadas na faixa de RF e microondas, depara-se com diversas fontes de erros, quais sejam:

a) Descasamento de impedância entre o sensor e a linha de transmissão de RF, ou seja, a potência incidente ( $P_i$ ) sobre o sensor é em parte refletida ( $P_r$ ) para o gerador em vez de ser dissipada no sensor. A relação entre a potência refletida e a potência incidente (no sensor) é dada pelo coeficiente de reflexão  $\rho$ , onde

$$P_r = \rho^2 \times P_i, \quad 0 \leq \rho < 1.$$

Um sensor ideal deveria ter  $\rho = 0$ ; no entanto, sensores que possuem  $\rho = 0,05$  são adequados para a maioria das aplicações.

b) Perda de RF, cuja fonte de erro origina-se da não-absorção total da energia incidente por parte do elemento sensor a qual é dissipada em outros componentes dos sistemas (perdas resistivas nas paredes do dispositivo sensor, nos contatos, em materiais dielétricos presentes, etc.).

Avalia-se o nível destas perdas através do coeficiente

de eficiência  $\gamma_e$  definido como:

$$\gamma_e = \frac{\text{Potência absorvida pelo sensor}}{\text{Potência incidente}}$$

Num dispositivo ideal tem-se  $\gamma_e = 1$ , que significa que toda a potência incidente é absorvida mas na prática tem-se ( $0 < \gamma_e < 1$ ). Normalmente na especificação de um sensor de potência é utilizado o fator  $K_b$  (fator de calibração), que é definido a partir dos dois coeficientes  $\rho$ ,  $\gamma_e$  da forma:

$$K_b = \gamma_e (1 - \rho^2).$$

Um bom sensor normalmente possui fator de calibração da ordem de 0,98, o que significa que o medidor de potência indicará um nível de potência 2% menor que a potência incidente.

### 2.2.2 - GANHO OU ATENUAÇÃO

#### 1) Propósito do Teste

Determinar o ganho ou atenuação de um dispositivo, sub-sistema, etc. sob análise.

#### 2) Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Medidor de Potência	HP-436A	(2);
b) Sensores de Potência	HP-8484	(2);
c) Acoplador Direcional	HP-777	(1);
d) Gerador de Sinal Modulado	HP-8663A	(1).

### 3) Diagrama de Teste

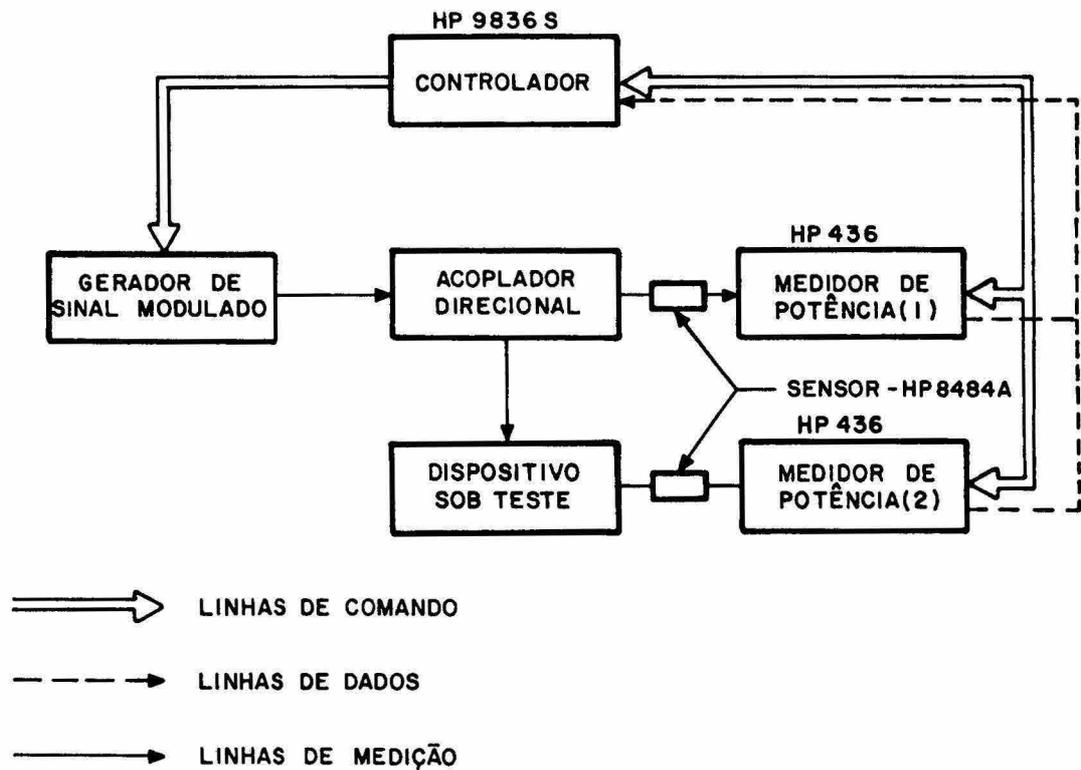


Fig. 3 - Configuração de teste: ganho ou atenuação - CT1.

### 4) Procedimento de Teste

- interligar os equipamentos de acordo com o diagrama de teste da Figura 3;
- fixar a saída do gerador para o nível de sinal adequado ao sensor de potência utilizado;

- c) efetuar a calibração do sistema [ligando diretamente o medidor de potência 2 ao acoplador direcional];
- d) medir o nível de potência (em dBm) em cada medidor de potência e anotar a diferença (em dB);
- e) repetir o passo d) para cada frequência de interesse (término da calibração);
- f) conectar o dispositivo sob teste ao sistema;
- g) repetir o passo d) para cada frequência de interesse.

A atenuação ou ganho do dispositivo sob teste, é

$$A = (P_1 - P_2) - (P_1' - P_2'), \text{ onde:}$$

$P_1$  = leitura de calibração no medidor 1;

$P_2$  = leitura de calibração no medidor 2;

$P_1'$  = leitura de teste no medidor 1;

$P_2'$  = leitura de teste no medidor 2.

##### 5) Comentários:

- a) A faixa da atenuação que poderá ser medida por este sistema é função da diferença entre a máxima potência em dBm que a fonte pode entregar à carga e a mínima potência em dBm que pode ser precisamente medida pelo sensor de potência.
- b) A precisão das medidas neste sistema é determinada fundamentalmente por três fatores:
  - Ruído associado a sinais de baixo nível quando são medidas altas atenuações. Quanto maior a atenuação ( $A_{t_n}$ ), maior o nível de imprecisão; para  $A_{t_n} \leq 50$  dB, os erros são insignificantes.

- Descasamentos entre os dispositivos de medida e o dispositivo sob teste, que geram reflexões que ocasionam variações nas ondas incidentes. Usualmente a contribuição deste erro para imprecisão total da medida é da ordem de  $\pm 0,3$  dB.
- Imprecisão nos instrumentos de medição (medidores de potência) a partir de fatores como: calibração imprecisa, nível de estabilidade insuficiente, tempo de resposta dos circuitos analógicos, etc.

Sendo no caso específico destas medidas, as contribuições destes fatores de imprecisão são bastante reduzidas, visto que os medidores de potência realizam medidas relativas.

### 2.2.3 - NÍVEL DE POTÊNCIA TRANSMITIDA OU RECEBIDA

#### 1) Propósito do Teste

Determinar o nível de entrada ou saída de um dispositivo, sub-sistema, etc. em análise.

#### 2) Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Medidor de Potência	HP-436A	(1);
b) Sensor de Potência	HP-8484A	(1);
c) Atenuadores	HP-8496H/ HP-11713A	(2);
d) Fonte Programável	HP-6032A	(1).

### 3) Diagrama de Teste

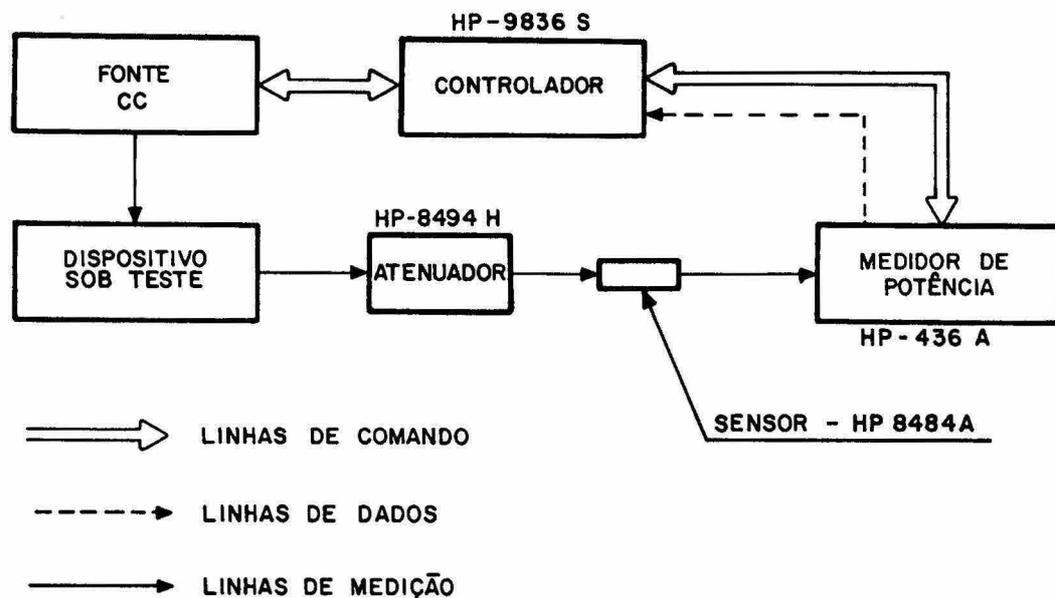


Fig. 4 - Configuração de Teste: Nível de Potência de Transmissão ou Recepção - CT - 2.

### 4) Procedimento de Teste

- conectar os equipamentos de acordo com o diagrama de teste da Figura 4;
- calibrar o medidor de potência, para leitura zero, estando o sinal de RF desligado;
- ligar o gerador ou receptor de RF e ler o nível de sinal de saída ou entrada no medidor de potência.

## 5) Comentários

Dependendo da região de operação: baixa, média ou alta potência ( $P > 10W$ ), deve-se tomar especial cuidado para não ultrapassar os níveis permissíveis para o dispositivo sob teste, bem como para os equipamentos de medida ou atenuadores.

## 2.3 - MEDIÇÕES DE RUÍDO

### 2.3.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

1) Todo dispositivo elétrico apresenta ruídos associados a sua operação. Tais ruídos podem, em muitas situações, tornarem-se críticos por sobrepor o sinal, principalmente em receptores que operam com baixo nível de sinal, como, por exemplo, LNA em estações terrenas de satélite. Podem-se distinguir vários tipos de ruído: o ruído "feito pelo homem"; as perturbações erráticas e normalmente "fora de controle" que ocorrem de forma irregular; e o tipo devido a "flutuações espontâneas". Embora estes três tipos ocorram na vida real, este trabalho se concentrará no terceiro tipo de ruído, em função de que estas "flutuações espontâneas" sejam de tensão, ou de corrente estão sempre presentes e, desta forma, representarem uma limitação básica na transmissão de informação. O ruído térmico e o ruído de disparo constituem as duas classes mais importantes deste tipo de ruído.

a) Ruído Térmico - provém da interação entre elétrons de condução e íons em condutores metálicos. A potência associada a este ruído pode ser avaliada através da expressão  $N_t \propto KTB$  (ou seja, a máxima taxa na qual a energia pode ser removida de um corpo), onde  $K$  = constante de Boltzmann,  $T$  = temperatura absoluta em graus Kelvin e  $B$  = banda passante de transmissão.

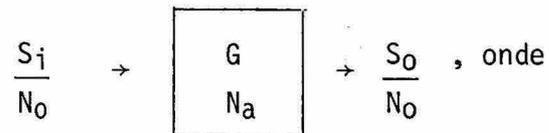
Deve-se observar que tal potência é conseguida somente quando há um casamento perfeito com a carga.

Embora  $N_t$  seja dependente de bandapassante, é considerada independente da frequência, existindo uma pequena variação com a frequência, a densidade de potência é constante, em torno de 1% até 100 GHz, e em torno de 10% até 1000 GHz. Considerando que a faixa de frequência até 100 GHz cobre a maior parte dos equipamentos elétricos, a expressão simples,  $N_E \propto KTB$ , é usualmente empregada.

- b) Ruído "Shot" (de disparo) - está presente em qualquer dispositivo eletrônico onde exista um fluxo médio de partículas em uma dada direção, o qual atravessa uma barreira de potencial de modo aleatório como, por exemplo, o fluxo de elétrons entre o catodo e o anodo de um tubo de raios catódicos de um osciloscópio, o fluxo de elétrons e lacunas em semicondutores, etc. Embora o valor médio do fluxo, tomado sob um número suficientemente grande de partículas, seja constante, haverá flutuações (ruído) em torno deste valor médio.
- O valor médio quadrático das flutuações é proporcional ao valor médio do fluxo, de modo que o ruído de disparo caracteriza-se por um ruído dependente do valor médio, apresentando uma densidade espectral de ruído essencialmente plana sobre uma larga faixa de frequência.
- 2) Uma situação ideal seria aquela na qual os sistemas não introduzissem nenhum ruído além daquele presente na entrada, o que implicaria uma relação sinal-ruído constante através do sistema, pois o sinal e o ruído seriam amplificados ou atenuados do mesmo modo (em sistemas lineares). Na prática, esta relação sinal-ruído é impossível, pois qualquer dispositivo, como foi visto na Seção 2.3.1, introduz alguma forma de ruído. Portanto, a relação sinal-ruído deverá diminuir continuamente através do sistema. Um meio de quantificar esta degradação (ou quanto um sistema é ruidoso) é através da Figura de Ruído ou da Temperatura de Ruído:

a) Figura de Ruído - é definida como a relação entre as relações sinal-ruído na entrada ( $S_i/N_i$ ) e na saída ( $S_o/N_o$ ) do sistema, ou seja:

$$\frac{S_o}{N_o} = \frac{1}{F} \times \frac{S_i}{N_i} \rightarrow F = 10 \log \frac{S_i/N_i}{S_o/N_o} ,$$



$G$  = ganho do sistema.

$N_a$  = ruído gerado pelo dispositivo.

Numa rede ideal tem-se Figura de Ruído igual a 1.

A Figura de Ruído de um sistema, como o apresentado acima, requer o cálculo de ambas as potências de sinal e ruído em dois pontos do sistema. De forma equivalente pode-se definir a Figura de Ruído em função apenas das potências de ruído, o que facilita a medição. De acordo com a Figura anterior tem-se:

$$S_o = G S_i ,$$

$$S_o/N_o = (1/F) \times (S_i/N_i) = (G S_i)/N_o \rightarrow F = N_o/(G N_i) ,$$

onde  $N_o = \underbrace{G N_i}_{\text{potência de ruído disponível na saída, devida apenas à entrada}} + \underbrace{N_a}_{\text{qualquer ruído adicional gerado no sistema}}$

$$\implies F = (G N_i + N_a)/(G N_i), \quad N_i = KTB,$$

$$\therefore F = (N_a + KTBG)/(KTBG) = 1 + N_a/(KTBG).$$

O IEEE adota como temperatura padrão  $T_0 = 290^{\circ}\text{K} = T_0$ , dado que na década de 40 os sistemas eram basicamente terrestres e o ruído recebido pelas antenas correspondia à temperatura atmosférica em torno de  $T = 290^{\circ}\text{K} = 16,8^{\circ}\text{C} = 62,8^{\circ}\text{F}$ . Portanto, a Figura de Ruído  $F$  pode ser escrita na forma:

$F = (N_a + KToBG)/(KToBG)$ , onde  $F$  é a razão entre a potência total de ruído na saída e a potência de ruído que seria disponível na saída gerada por uma fonte a  $290^{\circ}\text{K}$ , como pode ser visto pelo gráfico da Figura 5. Tal definição é a utilizada nos aparelhos de medição.

Para sistemas em cascata, com Figura de Ruído  $F_1, F_2, \dots, F_n$  e correspondentes ganhos  $G_1, G_2, \dots, G_n$ , a Figura de Ruído total é:

$F = F_1 (F_2 - 1)/G$  para  $n = 2$ , como pode ser visto na Figura 6.

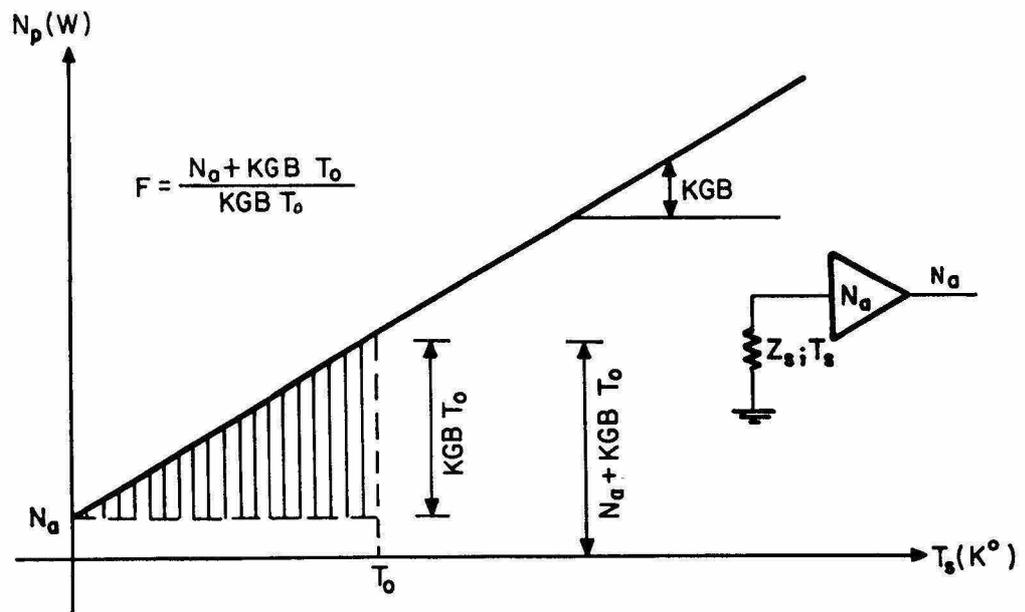


Fig. 5 - Figura de Ruído: definição.

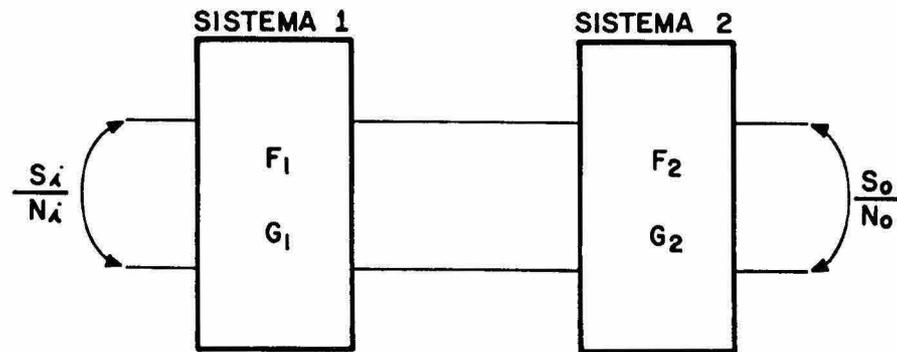


Fig. 6 - Figura de Ruído: Sistemas em cascata.

Se  $G \gg (F_2 - 1) \implies F \rightarrow F_1$ , então a Figura de Ruído total é basicamente determinada pela Figura de Ruído do 1º estágio; portanto, em projetos de circuitos procura-se minimizar ao máximo a Figura de Ruído deste estágio.

- b) Temperatura de Ruído - a partir da década de 60, com as comunicações espaciais e o advento da radioastronomia, foram desenvolvidos dispositivos com figuras de ruído tão baixas quanto 1.1, ou seja,  $N_a \rightarrow 0$ . Nestes casos, a Figura de Ruído perde o seu significado real e o problema principal passa a ser o ruído externo captado pelo sistema, não o ruído interno do receptor. Para estes casos utiliza-se o conceito de Temperatura de Ruído.

A Temperatura de Ruído ( $T_e$ ) de um sistema é definida como a temperatura efetiva de uma fonte de ruído térmico que, aplicada na entrada do sistema, considerado então como isento de ruído, produz na saída a mesma potência de ruído que o sistema. Esquemáticamente tem-se:

$$N_i(T) \rightarrow \begin{array}{|c|} \hline G \\ \hline N_a \\ \hline \end{array} \rightarrow \frac{N_o}{\downarrow} = GKTB + N_a,$$

ruído real no sistema

$$\begin{array}{l} N_i(T) \rightarrow \\ N_i(T_e) \rightarrow \end{array} \begin{array}{|c|} \hline G \\ \hline \end{array} \rightarrow \begin{array}{l} N_o = GKTB + GKT_eB, \\ = GKB(T + T_e), \end{array}$$

considerando que  $F = N_o/(G N_i) \rightarrow F = 1 + T_e/T$

para  $T = T_0 = 290^{\circ}\text{K}$ .

Portanto  $F = 10 \log (1 + (T_e/290^{\circ}))$  dB como pode ser visto pela Figura 7.

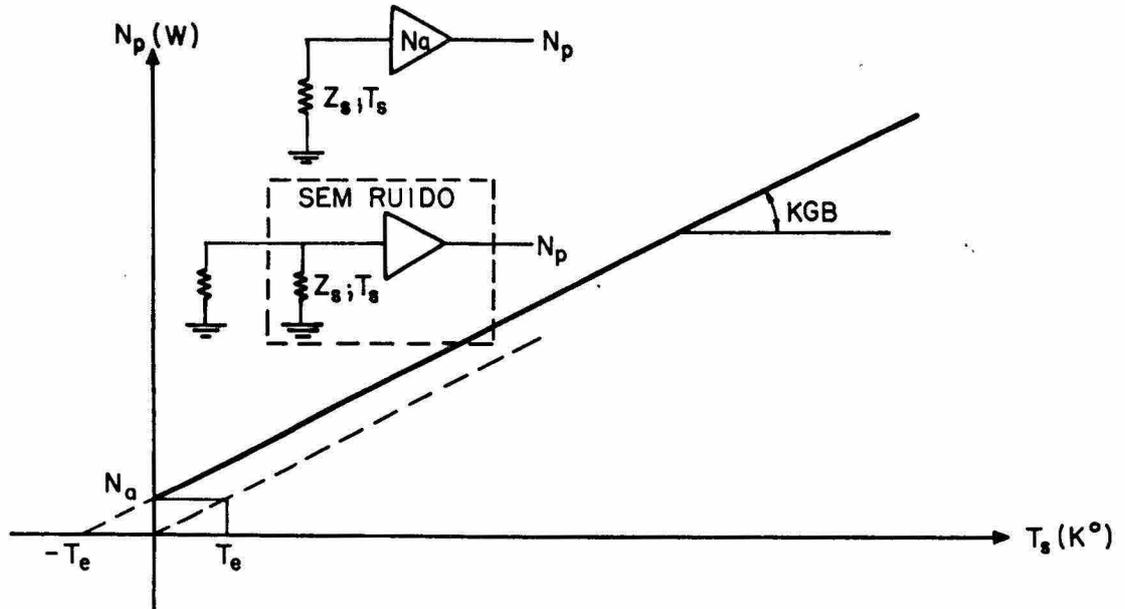


Fig. 7 - Temperatura de Ruído: definição.

Deve-se observar, no entanto, que o fato de um dispositivo ter uma certa temperatura de ruído não significa que esteja fisicamente nessa temperatura, mas que a sua potência de ruído é equivalente a uma fonte de ruído térmico na temperatura mencionada.

- 3) O conhecimento da Figura de Ruído é de importância fundamental em sistemas de comunicações, pois possibilita, por exemplo, a determinação da potência total de ruído relativa à entrada de um sistema; conjugando este dado à relação sinal-ruído, requerida para atender ao desempenho especificado, pode-se determinar a potência de sinal necessária na entrada do sistema.

4) Existem vários métodos de medida de ruído: Fator Y, Fonte de Ruído "Hot-Cold", etc. Embora sejam métodos válidos na determinação de figuras de ruído, consomem bastante tempo e, portanto, não são usados normalmente. O método atualmente em uso é o denominado "método dos dois pontos", que é realizado diretamente pelos medidores de ruído atualmente em uso (8970A da HP).

O diagrama de bloco básico que realiza esta medida é o apresentado na Figura 8.

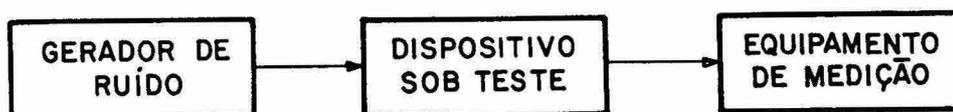


Fig. 8 - Configuração básica para medições de ruído.

Especificamente no HP 8970A, o processo básico de medição é gerar duas temperaturas de ruído ( $T_1$  e  $T_2$ ) através de uma fonte de ruído e medir as duas potências de ruído de saída respectivas ( $N_1$  e  $N_2$ ) sobre a reta de inclinação kGB. Através da extrapolação para  $T = 0$ , determina-se  $N_a$  (ruído adicionado pelo dispositivo sob teste), como se pode ver pela Figura 9.

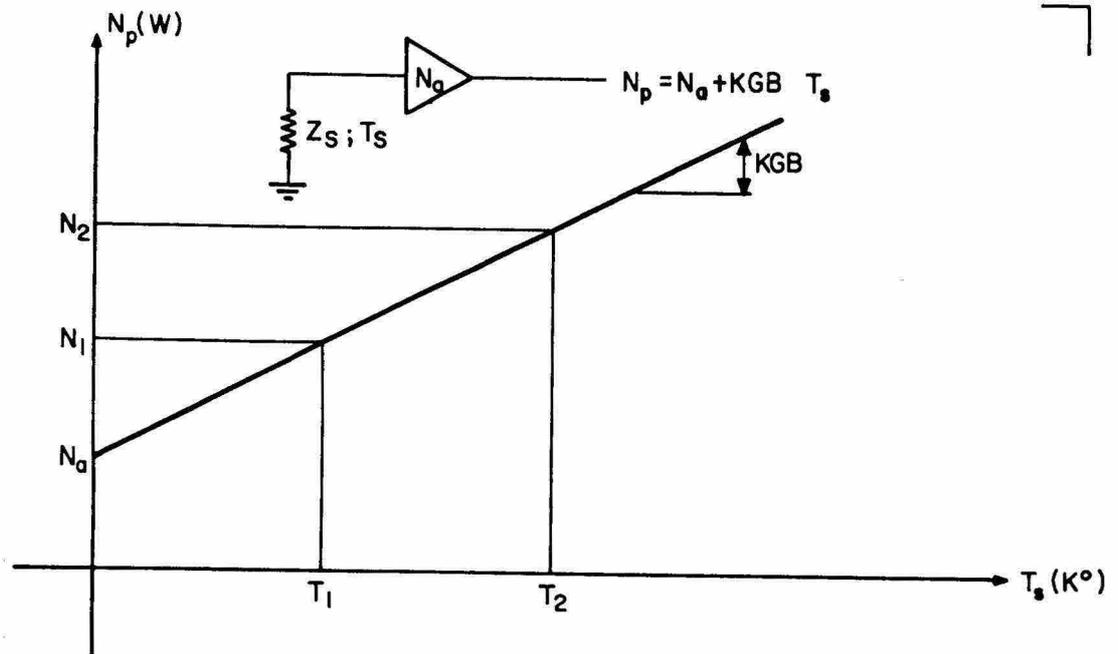


Fig. 9 - Determinação da figura de ruído: método de dois pontos.

A partir deste dado ( $n_a$ ), o medidor 8970A, através de micro processamento interno, fornece a Figura de Ruído em dB ou a temperatura de ruído em  $^{\circ}K$ , assim como o ganho do dispositivo sob teste, eliminando, através de autocalibração, quaisquer outros ruídos adicionais existentes no sistema de medição (conversores de frequência, etc.).

### 2.3.2 - FIGURA DE RUÍDO OU TEMPERATURA DE RUÍDO

#### 1) Propósito do Teste

Medir a redução do sinal/ruído de um dispositivo ou sistema

em estudo, em função do ruído gerado internamente pelo dispositivo em operação.

## 2 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Medidor de Figura de Ruído	- HP 8970A	(1);
b) Fonte de Ruído	- HP 346B	(1);
c) Gerador de Sinal Modulado ou sintetizado	{ HP 8663A HP 8340	(1);*
d) Misturador	HMXR - 5001	(1).

\* A ser utilizado em medições acima de 1500 MHz

## 3 - Diagrama de Teste

De acordo com a apresentado na Figura 10.

## 4 - Procedimento de Teste

- a) conectar os equipamentos de acordo com o diagrama de teste;
- b) seleccionar o modo de operação apropriado para a medida no HP 8970A;
  - b1) - modo 1.0: sem utilização do gerador de sinal;



- d) determinar o controle do gerador de sinal pelo medidor de Figura de Ruído;
- e) ajustar a frequência de início, final e passo das medidas;
- f) efetuar a calibração do aparelho (feita automaticamente no caso do HP 8970A);
- g) fixar o número médio de medidas a serem feitas para cada frequência utilizada;
- h) acionar no Medidor de Ruído a tecla "noise figure/gain" e ler o valor da medição no "display" do instrumento.

## 5 - Comentários

- a) Na Seção 2.3.2, item 4, as sequências c) e d) não serão utilizadas para frequências abaixo de 1500 MHz (medidas diretas, sem conversão de frequência).
- b) Na apresentação dos resultados, o Medidor de Ruído HP 8970A já considera os efeitos de "segundo estágio", as perdas nos adaptadores, e a variação com a frequência do ENR.

## 2.4 - MEDIÇÕES DE FREQUÊNCIA

### 2.4.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

- 1 - Atualmente existem basicamente três métodos de medição para medidas de frequência:
  - a) Conversão de Frequência - utilizada em geradores de nível que tenham frequências de medição derivadas a partir de uma frequência de cristal, a qual serve de padrão de

de comparação , pois a partir de uma frequência deste gerador e da frequência desconhecida, faz-se um batimento de frequência, cuja passagem por zero pode ser observada num osciloscópio.

- b) Analizador de Espectro - a partir da alta precisão em frequência obtida pelos modernos analisadores de espectro, lê-se a frequência desejada após os ajustes de largura de faixa adequada e a centralização do sinal no centro da tela.
- c) Contadores de Frequência - este é o método de maior uso em função da alta precisão das medidas, fácil operação, indicação digital, controle automático e possibilidade de registro. Entretanto, sendo o contador de frequência um instrumento digital, apresenta um limite técnico para medir frequências superiores a 500 MHz, devido à velocidade limitada das chaves eletrônicas. Em função disto, para frequências superiores a esta é empregada uma conversão para levar a frequência a ser medida até a faixa de operação do controlador, que mede somente a diferença entre a frequência a ser medida ( $F_m$ ) e a frequência convertida ( $F_u$ ). A frequência convertida deve ser conhecida e constante, de acordo com a precisão desejada, e ser normalmente derivada de uma frequência de cristal.

Especificamente no caso do contador HP 5342A, este utiliza a técnica "harmonic heterodyne converter", a qual provê medições até 26,5 GHz.

#### 2.4.2 - FREQUÊNCIA OU TEMPO

##### 1 - Propósito do Teste

Determinar ou monitorar a frequência de um sistema proveniente de um dispositivo, subsistema ou sistema (receptor, trans

missor, etc.).

## 2 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Gerador de Sinal modulado	- HP 8663A	(1);
b) Atenuador	- HP 8494H	(1);
c) Contador de Frequência	- HP 5342A	(1).

## 3 - Diagrama de Teste

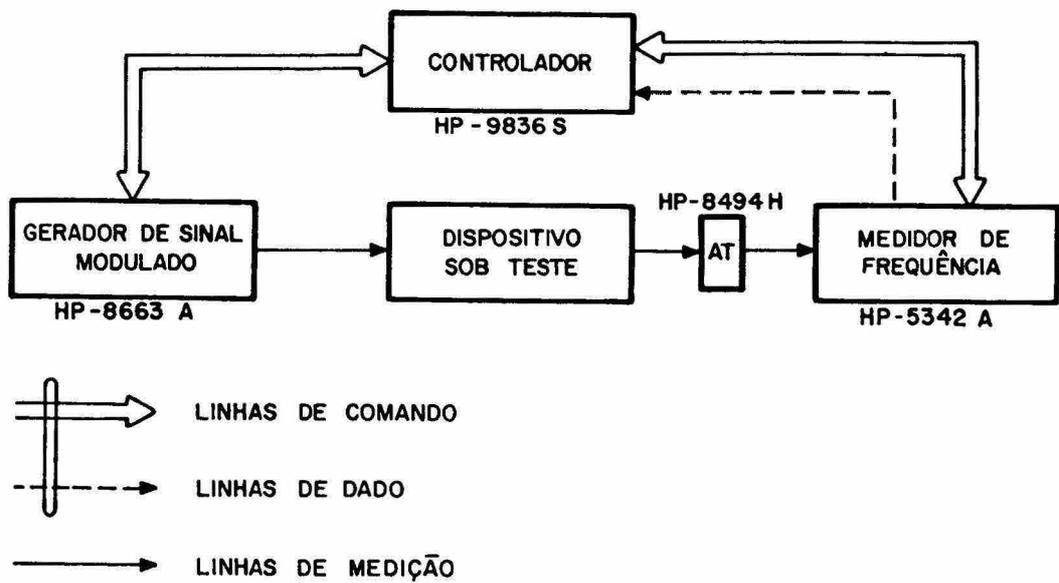


Fig. 11 - Configuração de teste: frequência - CT4.

#### 4 - Método de Teste

- a) conectar os instrumentos de acordo com o diagrama de teste da Figura 11;
- b) fixar o gerador de sinal para operação manual ou remota, o nível de sinal desejado, o tipo de modulação a ser empregado (determinando as características específicas de cada modulação), se será feita varredura em frequência ou não (fixando as frequências de início e fim, o número de passos, a velocidade de varredura);
- c) escolher o modo manual ou remoto do contador de frequência, assim como a faixa de operação (10 Hz – 500 MHz, 500 MHz – 18 GHz), a resolução (1 Hz a 1 MHz), o tipo de sinal (CW; FM) e o tipo de amostragem;
- d) acionar o contador para realizar a medida.

#### 5 - Comentários

- a) Dependendo do tipo de contador empregado, ou seja, do tipo de conversão por ele utilizado, deverão ser verificadas as seguintes condições em relação ao sinal, para possibilitar uma correta medição:
  - uma discriminação de 2 dB para  $\Delta f = 200$  MHz, 5 dB para  $\Delta f = 1$  GHz e 10 dB para  $\Delta f = 18$  GHz entre o sinal que está sendo analisado e outros presentes no espectro;
  - uma relação S/N de 20 dB em relação às condições ambientais das medidas ("noise floor");
- b) No caso de frequências abaixo de 200 MHz, pode-se utilizar

o contador universal HP 5335A, que permite realizar, além de medições de frequências, medições de intervalo de tempo (tempo entre os eventos A e B, com aplicações em radar e rastreamento), fase relativa e outros.

### 2.4.3 - RUÍDO DE FASE

- 1 - A estabilidade de frequência quantifica a que nível um oscilador pode gerar a mesma frequência durante períodos de tempo específicos. A descrição de tal instabilidade é geralmente feita definindo a estabilidade como estabilidade de longa duração e de curta duração.

A estabilidade de longa duração descreve variações de frequência que ocorrem em longos períodos de tempo, expressos em partes por um milhão da variação de frequência/por hora, dia, mês ou ano. A estabilidade de curta duração envolve os elementos que causam variações de frequência em torno da frequência central, cujo intervalo de tempo não supera alguns segundos.

Matematicamente uma onda senoidal pode ser escrita em condições ideais como:

$$V(t) = V_0 \text{ sen } (2\pi f_0 t),$$

onde:  $V_0$  = amplitude nominal,

$2\pi f_0 t$  = variação linear da fase,

$f_0$  = frequência nominal.

Considerando possíveis flutuações, tem-se:

$$V(t) = (V_0 + a(t)) \text{ sen } (2\pi f_0 t + \Delta \phi(t)),$$

onde:  $a(t)$  = flutuações na amplitude,

$\Delta \phi(t)$  = flutuações na fase.

Hã dois tipos de flutuaçãõ de fase. O primeiro ẽ do tipo de terminĩstico, cujos sinais sãõ discretizados em frequẽncia, chamados comumente de espũrios. O segundo tipo de flutuaçãõ de fase, comumente denominado ruĩdo de fase, ẽ de natureza randõmica. No domĩnio da frequẽncia estas flutuações apre<sup>sentam</sup> um espectro contĩnuo sobre larga faixa de frequẽncia, similar ao ruĩdo de banda larga. As fontes de ruĩdo randõmico em um oscilador incluem o ruĩdo tẽrmico e o de disparo (ver Seçãõ 2.3.1).

Na mediçãõ do ruĩdo de fase, define-se a funçãõ  $L(f)$ , a qual representa o nĩvel do ruĩdo de fase pela razãõ entre:

$$\frac{P_{ssb}}{P_s} = \frac{\text{densidade de potẽncia em apenas uma banda.}}{\text{Potẽncia total de ruĩdo}}$$

2 - Existem basicamente trẽs mẽtodos para realizar medidas de ruĩdo de fase: conversãõ heterõdina, discriminaçãõ em frequẽncia e deteçãõ por quadratura de fase:

a) Conversãõ heterõdina - ẽ um mẽtodo utilizado no domĩnio do tempo, o qual converte o sinal sob teste uma frequẽncia intermediãria. Atravẽs de um contador de alta resoluçãõ, mede-se a frequẽncia FI repetidamente, com o perĩodo entre as medidas mantido constante; determinam-se entãõ os diversos desvios de frequẽncia, ( $Y$ ), sobre o perĩodo de tempo ( $T$ ), utilizado. Calcula-se a variãncia destes desvios, cuja raiz quadrada, a  $\Gamma_y(T)$ , corresponde ao ruĩdo de fase.

b) Discriminaçãõ em frequẽncia - ẽ um mẽtodo utilizado no domĩnio da frequẽncia, no qual o sinal sob teste passa atravẽs de um discriminador de frequẽncia e a sua saĩda ẽ monitorada por um analisador de espectro.

c) Deteção por quadratura de fase - este é possivelmente o método mais versátil utilizado na medição do ruído de fase. Neste método o sinal sob teste é convertido em zero, Hz ou CC através da mixagem com um sinal padrão (de ruído muito baixo) de mesma frequência e em quadratura de fase ( $90^\circ$ ), como pode ser visto na figura 12.

Na condição de quadratura de fase, o misturador atua como um detetor de fase, e a sua saída é proporcional às flutuações da diferença de fase entre as entradas (pequenas flutuações de voltagem centrada em aproximadamente 0 Volt). Analisando o sinal na saída do misturador com um analisador de espectro, pode-se determinar o ruído de fase. Este será o método utilizado nesta seção em função de sua alta sensibilidade.

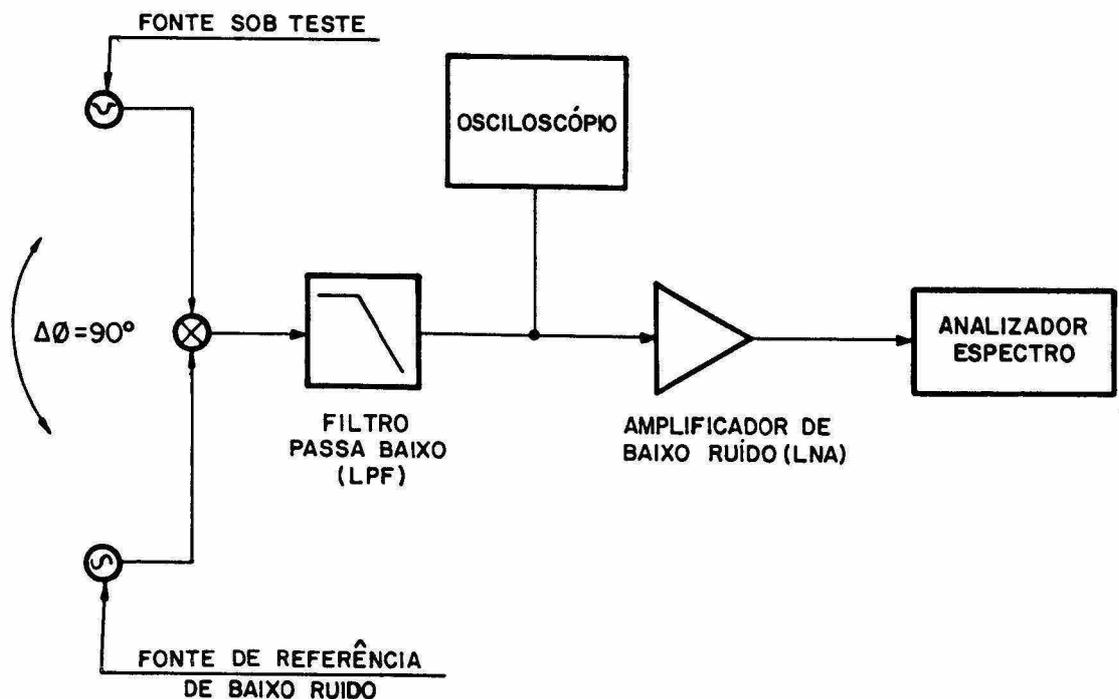


Fig. 12 - Ruído de fase: deteção por quadratura de fase.

- 3 - Demonstra-se que a relação entre o valor medido num analisador de espectro qualquer e o valor dado pela função  $L(f)$  é expresso da seguinte forma:

$$L(f) = N/C \text{ (dBc/Hz)} - F_q \text{ (dB)} - 10 \log(BW) - F_o + F_a,$$

onde:

$N/C$  = valor relativo entre a potência de ruído e a potência da portadora (dBc é o número de dBs abaixo da portadora);

$F_q$  = fator de correção requerido pela utilização de sinais em quadratura de fase = 6 dB;

$BW$  = fator correspondente a uma particular bandapassante utilizada na medição;

$F_o$  = fator de correção advindo do fato de usar dois osciladores, considerando que tais osciladores são similares e contribuem de igual maneira para o ruído = 3 dB;

$F_a$  = fator a ser somado quando se utiliza um analisador com amplificador FI logaritmo = 2,5 dB;

$L(f)$  = ruído de fase.

#### 4 - Propósito do Teste

Determinar o nível de estabilidade de curta duração (ruído de fase) de um dispositivo.

5 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Analisador de Espectro	- HP 8566A	(1);
b) Gerador de Sinal Modulado	- HP 8663A	(1);
c) Filtro Passa Baixo	-	(1);
d) Osciloscópio	- TEK	(1);
e) Amplificador de Baixo Ruído	-	(1);
f) Misturador	- HMXR-50001	(1).

6 - Diagrama de Teste

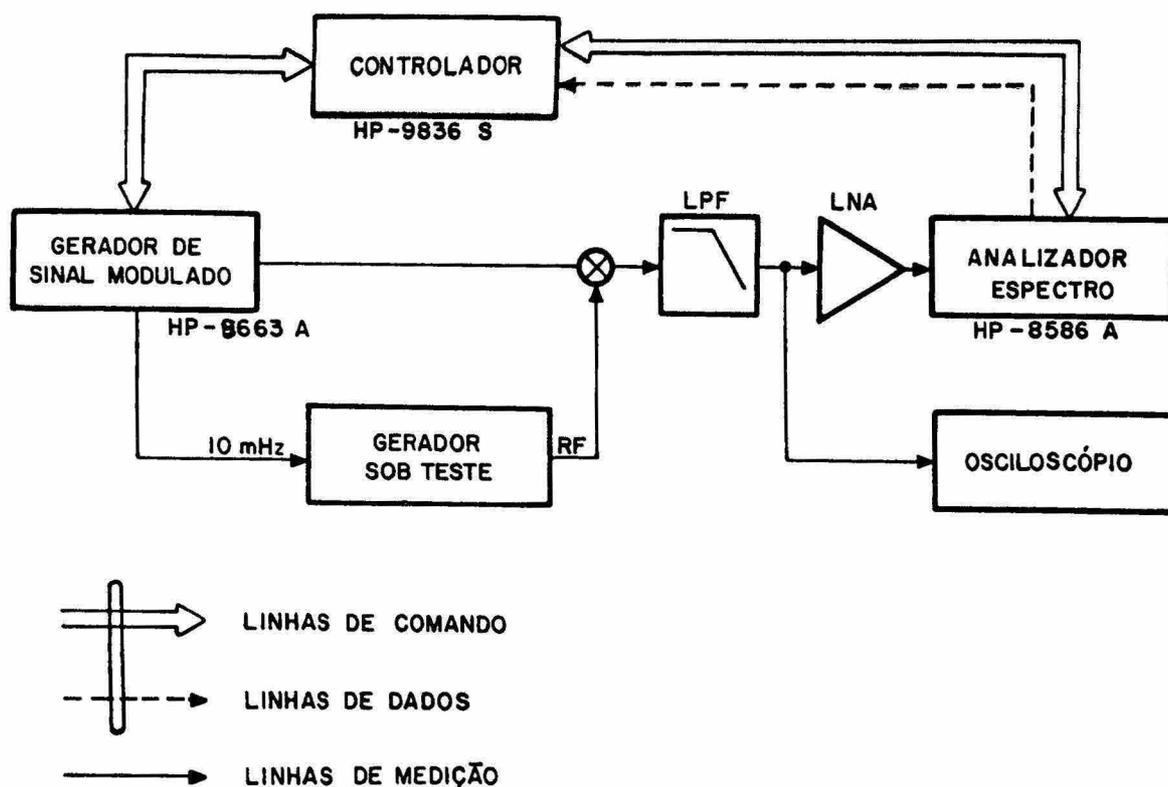


Fig. 13 - Configuração de teste: Ruído de Fase - CT 5.

## 7 - Método de Teste

- a) Conectar os equipamentos segundo o diagrama apresentado na Figura 13.
- b) Fixar a frequência da portadora ( $F_p$ ) desejada no sintetizador sob teste.
- c) Fixar no HP 8663A a frequência  $F_p$ , dar um incremento à frequência (10 KHz por exemplo) para gerar um sinal para calibração (referência) para o analisador de espectro poder fazer medidas relativas do ruído de fase à portadora), com amplitude de 0 dBm. Se necessário, pode-se atenuar este sinal (40 dB, por exemplo) em função das características do amplificador de baixo ruído (evitando a saturação).
- d) Fixar no analisador de espectro uma resolução adequada, assim como uma escala apropriada de amplitudes. Acionar um "marcador", através da tecla "normal", fixando-a sobre o pico do sinal de calibração (10 KHz), o qual passará a ser o nível de referência das medidas (fim da calibração).
- e) Retornar tanto o equipamento sob teste, quanto o gerador de referência à mesma frequência e aos níveis originais de sinal, para dar início à fase de ajuste da quadratura do sinal.
- f) Fixar no HP 8663A um incremento de frequência (0,1 Hz) e, com o osciloscópio, monitorar este sinal, observando a sua passagem por 0 V cc (quadratura).
- g) Feita a calibração e o ajuste de quadratura, pode-se realizar a medida ajustando o analisador de espectro para a faixa de frequência de interesse, com suficiente resolução para identificar os espúrios. Devido ao fato de o ruído de fase exibir uma densidade de espectro randômica, é desejá

vel que seja usada alguma forma de média disponível no analisador de espectro ("RMS average mode") na realização da medida.

- h) Após o nível do ruído de fase ter sido medido, as correções descritas na Seção 2.4.3 item 3 devem ser feitas, observando que nos casos de utilização do analisador de espectro HP 8566A, apenas as correções referentes a  $F_q$  e  $F_o$  devem ser consideradas, sendo as demais feitas automaticamente pelo instrumento.

## 8 - Comentários

- a) Medidas de ruído de fase ( $L(f)$ ) poderão ser realizadas diretamente no analisador de espectro, se as seguintes condições forem satisfeitas:

- O ruído de fase do analisador de espectro (especificamente do oscilador local) na frequência de interesse deve ser menor que o ruído do dispositivo sob teste.

- Considerando que o analisador de espectro irá medir a potência de ruído total, os níveis de ruídos AM (determinados em função do tipo de fonte sob teste) devem estar significativamente abaixo do ruído de fase (tipicamente 10 dB).

- b) Normalmente especificam-se dois tipos de ruídos de fase para dispositivos (multiplicadores, misturadores, amplificadores e fontes), que operam em comum com um oscilador de referência:

- residual - é o ruído de fase inerente ao dispositivo, excluindo-se o ruído do oscilador de referência usado;

- absoluto - é o ruído de fase total presente na saída, sendo função do ruído residual e do oscilador de referência.

O método descrito no item a mede o ruído absoluto.

## 2.5 - MEDIÇÕES DE DISTORÇÃO, MODULAÇÃO E INTENSIDADE DE CAMPO

### 2.5.1 - DISTORÇÃO

1 - Distorção pode ser definida como uma variação indesejável nas características originais de um sinal, que resulta numa reprodução incorreta do sinal.

Pode-se classificar a distorção em dois tipos: espúria e harmônica.

a) Espúria: São sinais que não estão relacionados com a portadora empregada no sistema (por exemplo, oscilações parasitas num amplificador em frequência não-relacionada com o sinal de entrada).

b) Harmônica: Está diretamente relacionada com a frequência fundamental do sinal e seus múltiplos inteiros (harmônicos), sendo quantificada usualmente pela THD (distorção harmônica total):

$$\text{THD (\%)} = \frac{100 \times \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + \dots + A_n^2}}{A_1},$$

onde:

A<sub>1</sub> = amplitude da fundamental (V),

A<sub>2</sub> = amplitude da segunda harmônica (V),

⋮

A<sub>n</sub> = amplitude da n-ésima harmônica (V).

## 2 - Propósito do Teste

Quantificar a distorção harmônica de um sinal na sua passagem por um dispositivo.

## 3 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Analisador de Espectro	- HP 8566A	(1);
b) Gerador de Sinal Sintetizado	- HP 8340A	(1);
c) Atenuador	- HP 8496H	(1).

## 4 - Diagrama de Teste

De acordo com o apresentado na Figura 14.

## 5 - Método de Teste

a) Conectar os equipamentos conforme a disposição do diagrama de teste da Figura 14.

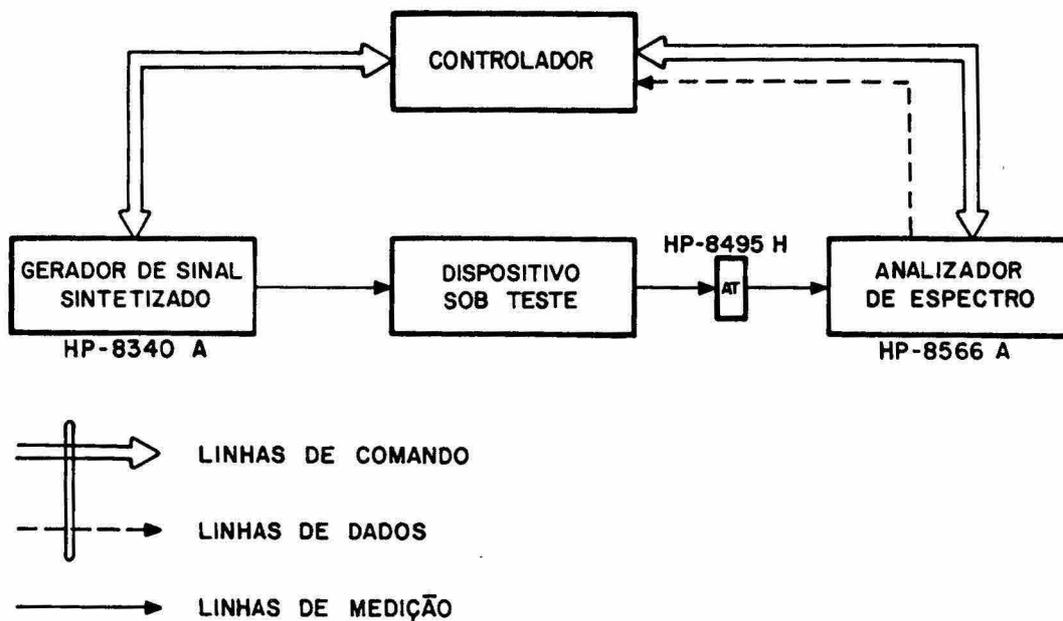


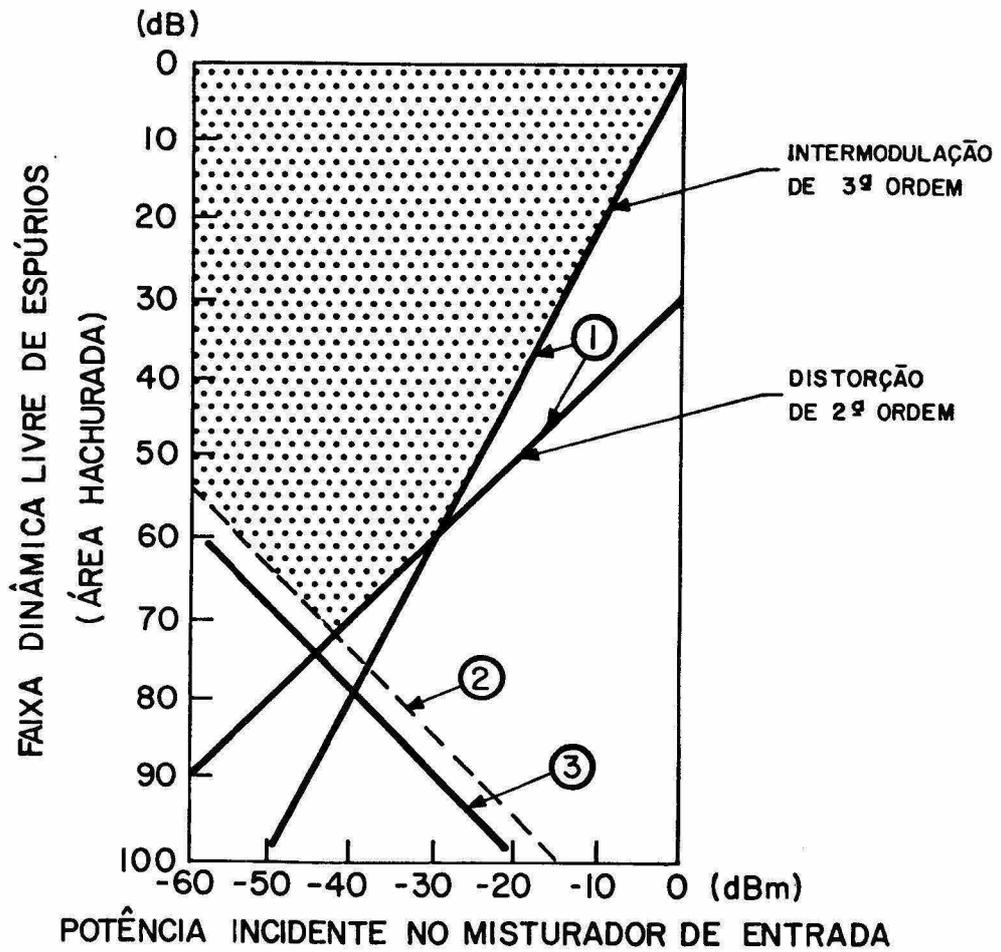
Fig. 14 - Configuração de teste: distorção harmônica - CT 6.

- b) Fixar a frequência da portadora desejada no gerador sintetizado (ou em outro gerador).
- c) Escolher no analisador de espectro a faixa de frequência de trabalho (0 – 2,5 GHz ou 2 GHz – 22 GHz) através da tecla "full span".
- d) Centralizar o sinal de interesse no centro da tecla, por meio da tecla "center frequency".
- e) Escolher uma largura de faixa adequada para identificar os produtos de distorção, através da tecla "frequency span".

f) Posicionar o sinal no topo da tela através da tecla "referency level" e medir as amplitudes relativas entre a fundamental e as harmônicas existentes.

## 6 - Comentários

- a) O analisador de espectro referencia os sinais na tecla em dB, considerando que todos os termos "An" para o cálculo de THD estão em volts; dever-se-iam, portanto, realizar as conversões necessárias. Pode-se evitar isto referenciando todos os termos "An" à fundamental, ou seja, fixando A1 como unidade de referência ( $\log (0/A1) = 1$ ); assim, os valores lineares An ficam:  $An \text{ (linear)} = \log An/A1 \text{ dB}$ .
- b) Na realização de medições de amplitude por analisador de espectro, um cuidado especial deve ser tomado quanto à faixa dinâmica livre de espúrios (FDLE) oferecida pelo analisador, a qual está relacionada diretamente com a potência incidente no misturador de entrada (PIME). Em assim sendo, deve-se determinar uma atenuação adequada ao sinal proveniente do dispositivo sob teste, em função da FDLE necessária à medição. Mostra-se na Figura 15 um gráfico de FDLE x PIME, que pode servir de referência na determinação da atenuação necessária.



- ① SINAL / ESPÚRIOS (dB)
- ② MARGEM DE ESPÚRIOS / RUÍDO (dB)
- ③ SINAL / RUÍDO

Fig. 15 - Analisador de espectro: faixa livre de espúrios.

- c) Seguindo o procedimento descrito na Seção 2.5 1.5, com algumas alterações, podem-se realizar ainda as seguintes medidas: resposta em frequência e análise de sinais pulsados (utilizados em radares).

## 2.5.2 - MODULAÇÃO

1 - Modulação é definida basicamente, como uma variação em torno de uma determinada frequência, denominada portadora. Quando uma portadora é modulada, suas características são alteradas de forma que haja modulações do tipo em amplitude (AM/ASK), frequência (FM/FSK) ou fase (PM/PSK), dependendo da configuração empregada (moduladora analógica ou digital). Nesta Seção, tratar-se-á basicamente da determinação dos seguintes índices:

- a)  $M_a$  = máximo desvio percentual de amplitude em relação à portadora não-modulada (adimensional).
- b)  $M_f$  = máximo desvio absoluto de frequência em relação à portadora não-modulada, expresso em Hz ou em % (relação entre o máximo desvio absoluto de frequência e um desvio arbitrariamente escolhido como 100%).
- c)  $M_p$  = máximo desvio absoluto de fase em relação à portadora não-modulada, expresso em graus/radianos.

## 2 - Propósito do Teste

Determinação dos índices de modulação de um sinal modulado em AM, FM ou PM.

3 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Gerador de Sinal Modulado	- HP 8663A	(1);
b) Gerador de Pulso	- HP 8112A	(1);
c) Gerador de Sinal Sintetizado	- HP 8340A	(1);
d) Analisador de Modulação	- HP 8901A	(1);
e) Contador Universal	- HP 5335A	(1).

4 - Diagrama de Teste

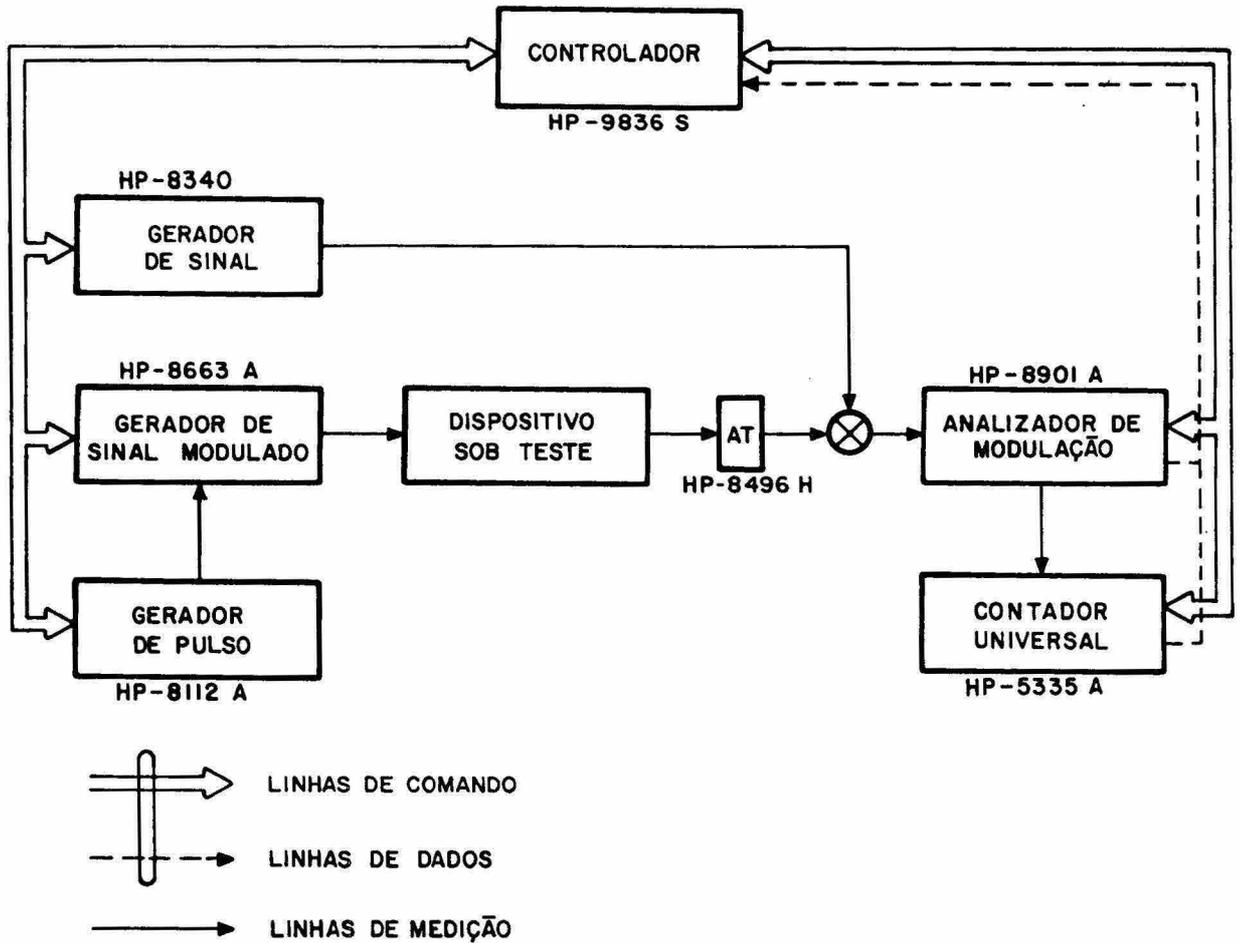


Fig. 16 - Configuração e Teste: modulação - CT 7.

5 - Método de Teste

- a) Conectar os equipamentos de acordo com o diagrama de Teste.

- b) Fixar no gerador de sinal modulado a frequência da portadora, o tipo e o índice de modulação desejados, assim como o nível de saída do sinal modulado.
- c) No caso de a frequência da portadora estar acima de 1500 MHz, deve-se fixar uma frequência adequada no gerador sintetizado para a realização de uma conversão de frequência por meio do misturador, de tal forma que a frequência convertida esteja abaixo de 1500 MHz.
- d) Selecionar no analisador de modulação a faixa de modulação, o filtro FI, os filtros de áudio, o modo de sintonia do oscilador local, e o detetor de pico a ser utilizado. Para medidas em FM deve-se fixar qual circuito de ênfase deverá ser empregado.
- e) Acionar o analisador de modulação e a tecla da medida específica desejada (Ma, Mf, Mp).

## 6 - Comentários

- a) Outras medidas podem ser tomadas com este mesmo arranjo, tais como nível de RF e frequência.
- b) Quando se trabalha com portadora analógica e modulante digital (ASK/FSK/PSK), pode-se empregar um gerador de pulso para servir de sinal modulante, bem como um contador para testar a frequência de transmissão dos pulsos.

### 2.5.3 - INTENSIDADE DE CAMPO

- 1 - Medidas de intensidade de campo são necessárias para determinar a quantidade de radiação emitida por um equipamento eletrônico. Espúrios gerados por uma unidade de um equipamento podem interferir na operação de um outro equipamento situado nas proximidades.

2 - Demonstra-se que a intensidade de campo (E) lida em um analisador de espectro é dada pelas seguintes expressões:

$$- E \text{ (dB}\mu\text{V/metro, p/ } Z_0 = 50\Omega) = \text{dBm} + 107 + A$$

$$- E \text{ (dB}\mu\text{V/metro, p/ } Z_0 = 75\Omega) = \text{dBm} + 108,75 + A$$

onde:

$$A = \text{"antenna fator"} = \frac{F \times \pi \sqrt{\frac{30}{Z_0 G}}}{75} = 20 \log F - G - 20 \log Z_0,$$

dBm = leitura no analisador de espectro,

F = frequência do sinal (MHz),

G = ganho da antena utilizada (dB),

Z<sub>0</sub> = impedância nominal (Ω),

107 e 108,75 = conversão para leitura em dBμV nos casos 50Ω, 75Ω, respectivamente.

### 3 - Propósito do Teste

Verificar a intensidade de radiação emitida por um equipamento eletrônico.

### 4 - Equipamento de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Analisador de Espectro	- HP 8566A	(1);
b) Atenuador	- HP 8498A	(1);
c) Antena	- -----	(1).

### 5 - Diagrama de Teste

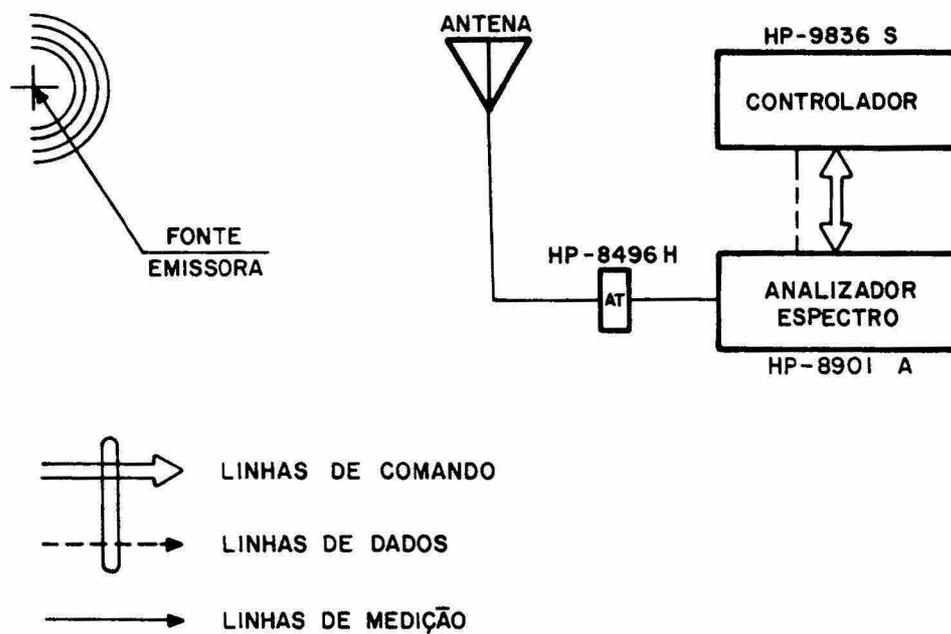


Fig. 17 - Configuração de teste: intensidade de campo - CT 8.

### 6 - Método de Teste

- a) Conectar os equipamentos de acordo com o diagrama de teste da Figura 17.
- b) Escolher no analisador de espectro a faixa de frequência de operação (0 - 2,5 GHz ou 2 - 22 GHz) através da tecla "center frequency".

- d) Escolher a largura de faixa adequada para identificar o sinal interferente através da tecla "frequency span".
- e) Posicionar o sinal no topo da tela através da tecla "referency level". A amplitude e a frequência do sinal poderão ser lidas diretamente na tela.

## 7 - Comentários

- a) Se for utilizado um atenuador em função das observações feitas no item 6b da Seção 2.5.1, esta atenuação deverá ser levada em conta no cálculo de E.
- b) A atenuação no cabo entre a antena e o analisador de espectro deve também ser levada em conta no cálculo da intensidade de campo.
- c) Considerações adicionais podem ser encontradas no Hewlett Parkard Product Note 85650A-1 - "A Guide to EMI Measurements".

## 2.6 - MEDIÇÕES DE TRANSMISSÃO E REFLEXÃO EM REDES LINEARES

### 2.6.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS

- 1 - Redes com dispositivos que operam na faixa de microondas são caracterizadas através de impedâncias e ganhos ou atenuações, de forma similar à caracterização de dispositivos ou redes em baixa frequência. Entretanto, os métodos de medição e os parâmetros medidos são profundamente afetados pelo fato que o comprimento de onda na faixa de microondas ser pequeno em comparação com as dimensões do sistema de medição. Tornando-se imperativo considerar a existência de ondas que caminham em velocidades finitas e são parcialmente transmitidas e refletidas devido aos descasamentos de impedâncias no sistema. Tal situação faz com que medições em redes lineares se agrupem em dois conjuntos básicos:

- a) Transmissão: As medidas são feitas comparando o sinal transmitido com o sinal incidente, como pode ser visto na Figura 18, o que resulta nos seguintes dados quanto às características de transmissão de rede: perda ou ganho de inserção, coeficiente de transmissão e atraso de grupo.
- b) Reflexão: As medidas são feitas comparando o sinal refletido com o sinal incidente, como pode-se ver pela Figura 18, o que resulta nos seguintes dados quando às características de reflexão das redes ou dispositivo: perda de retorno, SWR, coeficiente de reflexão e impedância.

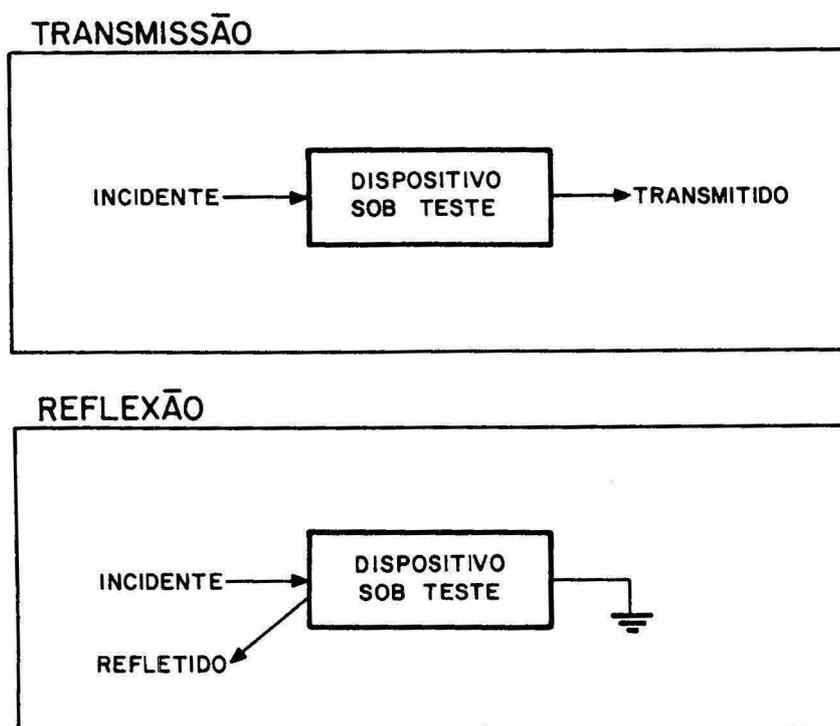


Fig. 18 - Redes lineares: medições de transmissão ou reflexão.

2 - Para implementação de tais medidas são utilizados os analisadores de redes, que são constituídos basicamente de três partes: gerador de sinal, acoplador de sinal e receptor.

O gerador de sinal pode ser um gerador CW ou de varredura, provendo um sinal de RF adequado às medidas a serem realizadas.

O acoplador de sinal direciona o sinal de RF para o dispositivo em teste e separa os sinais incidente, refletido e transmitido, necessários à caracterização da rede. O sinal incidente é encaminhado para um canal de referência no receptor, enquanto os sinais refletido ou transmitido são encaminhados para um canal de teste deste mesmo receptor.

O receptor é constituído de dois elementos:

a) um detetor vetorial de dois canais, o qual realiza as medidas relativas de amplitude e fase entre os canais de referência e de teste, que realiza também uma conversão analógico-digital nos sinais para possibilitar alto nível de processamento;

b) Um processador que controla o sistema, analisa os sinais digitais, corrige os erros e visualiza os resultados em vários formatos (formato polar, linear, etc.).

3 - Na realização de medições com analisadores de redes, é fundamental a calibração do sistema, pois por exemplo a existência de diafonia devido a características deficientes de isolamento de canal do analisador de rede poderá gerar erros semelhantes às características de transmissão de um dispositivo de teste de alta perda.

Um sistema de medição "perfeito" deveria ter as características de faixa dinâmica, isolamento e diretividade infinitas,

nenhum descasamento de impedância em qualquer parte do sistema e resposta plana de frequência. Na prática, um sistema de análise de redes "perfeito" é conseguido medindo a resposta de amplitude e fase de um dispositivo padrão e conjugando estes dados com um modelo que determina a contribuição de cada erro, pode-se, quando se realizam as medições, remover matematicamente os possíveis erros, apresentando os resultados "perfeitos" ou os mais precisos possíveis. Numa aplicação típica, o sistema é configurado para uma determinada medida, sendo feita uma calibração apropriada para cada parâmetro a ser medido; tal calibração é armazenada em uma memória da unidade controladora do sistema. O dispositivo sob teste é conectado ao sistema de medição, sua resposta é medida, todos os dados são corrigidos internamente e os resultados "limpos" são apresentados. Este é o procedimento utilizado no analisador de rede HP 8510.

#### 2.6.2 - PARÂMETROS "S"

- 1 - Redes lineares ou não-lineares, que operam com sinais de baixa amplitude, dentro de sua região linear, podem ser completamente caracterizadas por parâmetros medidos em seus terminais, sem considerar os componentes da rede, ou seja, o comportamento da rede sob qualquer condição pode ser prevista a partir do momento em que se conheçam os seus parâmetros de entrada e saída.

Para definir o desempenho de uma rede, vários conjuntos de parâmetros podem ser usados, tais como H, Z, G, ABCD e Y. Dado que todos estes conjuntos contêm as mesmas informações sobre a rede, é sempre possível calcular um deles a partir do outro. Usualmente em baixa frequência o parâmetro mais usado é o Y, no qual a variável independente é a voltagem e a dependente é a corrente, como pode ser visto na Figura 19, onde:

$$I_1 = Y_{11} \times V_1 + Y_{12} \times V_2,$$

$$I_2 = Y_{21} \times V_1 + Y_{22} \times V_2.$$

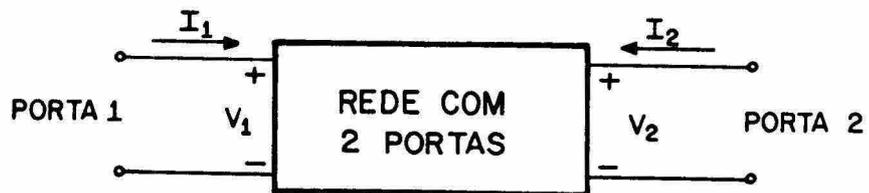


Fig. 19 - Redes lineares: configuração básica.

Se em vez de voltagem e corrente for utilizado o conceito de potência incidente e refletida como variáveis de entrada e saída, ter-se-ã os parâmetros "S" a descreverem as suas inter-relações.

- 2 - Os parâmetros "S" são usados predominantemente na faixa de microondas, pois são mais fáceis de serem medidos em altas frequências que os demais parâmetros existentes, além de serem analiticamente convenientes para prover a resposta da

rede quando combinada com outros dispositivos, para os quais se conhecem os parâmetros "S".

Os parâmetros "S" são sempre a razão de duas quantidades complexas. Adaptando a Figura 18 aos parâmetros "S", tem-se a situação mostrada na Figura 20, onde:

$a(i)$  = energia que entra no dispositivo na porta  $i$ ;

$b(i)$  = energia que emerge do dispositivo na porta  $i$ ;

$S_{x,y}$  = no qual  $x$  representa a porta em que a energia está emergindo e  $y$  representa a porta onde a energia está incidindo.

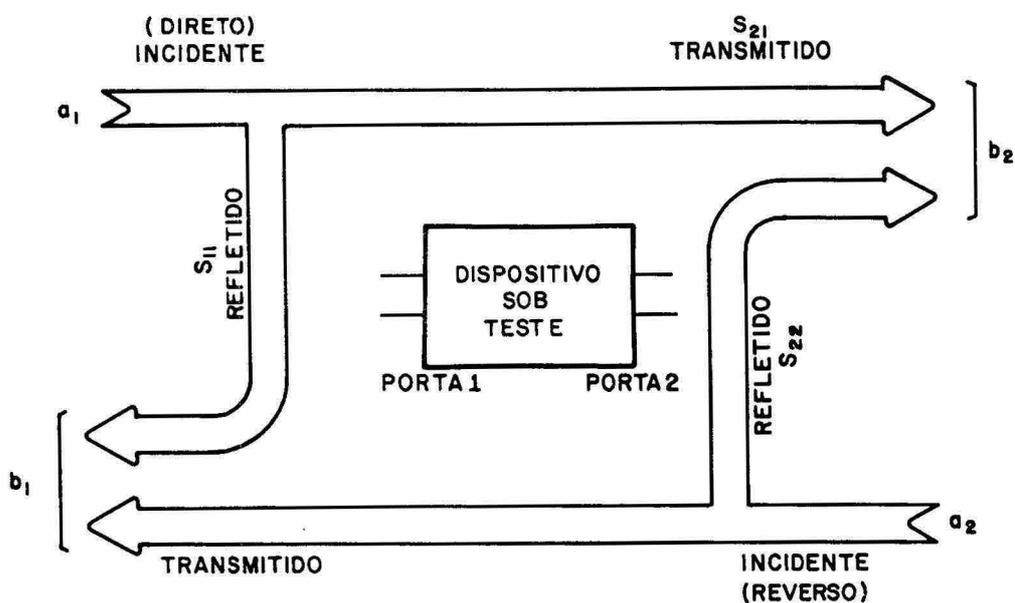


Fig. 20 - Parâmetros "S": configuração básica.

Considerando tais definições, tem-se:

$Z_i$  = impedância na porta  $i$ ;

$$b_1 = S_{11} \times a_1 + S_{12} \times a_2 ;$$

$$b_2 = S_{21} \times a_1 + S_{22} \times a_2 .$$

a) Parâmetro  $S_{11}$ ,  $S_{21}$

$$S_{11} = b_1/a_1 = \frac{\text{potência refletida}}{\text{potência incidente}} \text{ c/ } a_2 = 0, \text{ ou seja,}$$

com  $Z_2 = Z_0 =$  impedância característica;

$$S_{21} = b_2/a_1 = \frac{\text{potência transmitida}}{\text{potência incidente}} \text{ c/ } a_2 = 0, \text{ ou seja,}$$

com  $Z_2 = Z_0 =$  impedância característica.

A configuração destas definições é vista na Figura 21.

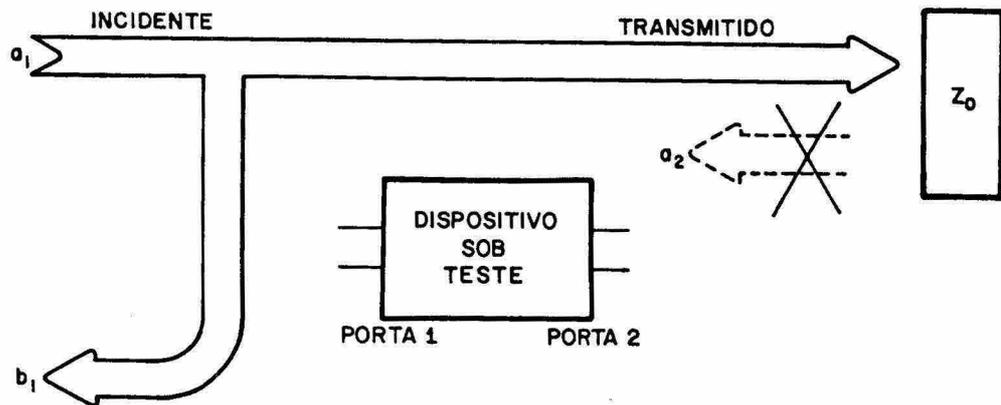


Fig. 21 - Parâmetros "S": definição  $S_{11}$ ,  $S_{21}$ .

b) Parâmetros  $S_{22}$ ,  $S_{21}$  :

$$S_{22} = b_2/a_2 \text{ , com } a_1 = 0 \text{ , ou seja, } Z_1 = Z_0 \text{ ;}$$

$$S_{12} = b_1/a_2 \text{ , com } a_1 = 0 \text{ , ou seja, } Z_1 = Z_0 \text{ .}$$

Pode-se observar através das definições de  $a_i$ ,  $b_i$  que  $S_{12}$  e  $S_{21}$  medem um ganho de inserção complexo, enquanto  $S_{11}$  e  $S_{22}$  medem perdas de descasamento.

3 - Usualmente os parâmetros "S" são representados através de um diagrama de fluxo (baseado na Figura 20), como pode ser visto na Figura 22.

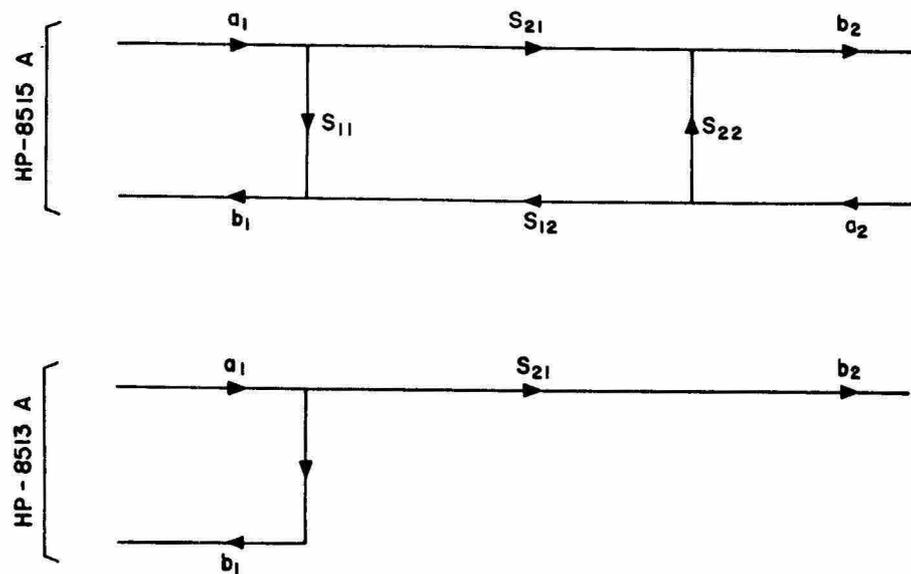


Fig. 22 - Parâmetros "S": fluxograma acoplador de sinais.

Neste fluxograma cada porta é representada por dois nós. O nó  $a_i$  representa a onda que entra no dispositivo na porta  $i$ . O nó  $b_i$ , a onda que deixa o dispositivo na porta  $i$ . As linhas que interligam os nós são denominadas ramos. Cada ramo tem um sentido (seta) e valor correspondente em parâmetro "S". A energia fluirá apenas na direção de seta.

Este fluxograma é usado no painel do acoplador de sinal (HP 8513A) do analisador de rede HP 8510, mostrando que a energia só pode ser aplicada ao nó  $a_1$ . Para medir os parâmetros reversos do dispositivo sob teste, deve-se invertê-lo manualmente.

2.6.3 - MEDIÇÕES DE TRANSMISSÃO ( $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ): PERDA, GANHO DE INSERÇÃO, COEFICIENTE DE TRANSMISSÃO, ATRASO DE GRUPO

1 - Propósito do Teste

Determinar os parâmetros  $S_{21}$  ou  $S_{12}$  de um dispositivo ou rede em análise.

2 - Equipamentos de Teste

NOME	MODELO	QUANTIDADE
a) Processador/Display	- HP 85101A	(1);
b) Detetor FI	- HP 85102A	(1);
c) Acoplador de Sinal	- HP 8513 A	(1);
d) Gerador de Sinal Sintetizado	- HP 8340 A	(1);
e) Atenuador	- HP 84930-010	(1);
f) Cabo de Teste	- HP 85131A	(1);
g) Adaptadores	- HP 85130A	(1);
h) Conjunto de Calibração	- HP 85052A	(1).

3 - Diagrama de Teste

Conforme o diagrama apresentado na Figura 23.

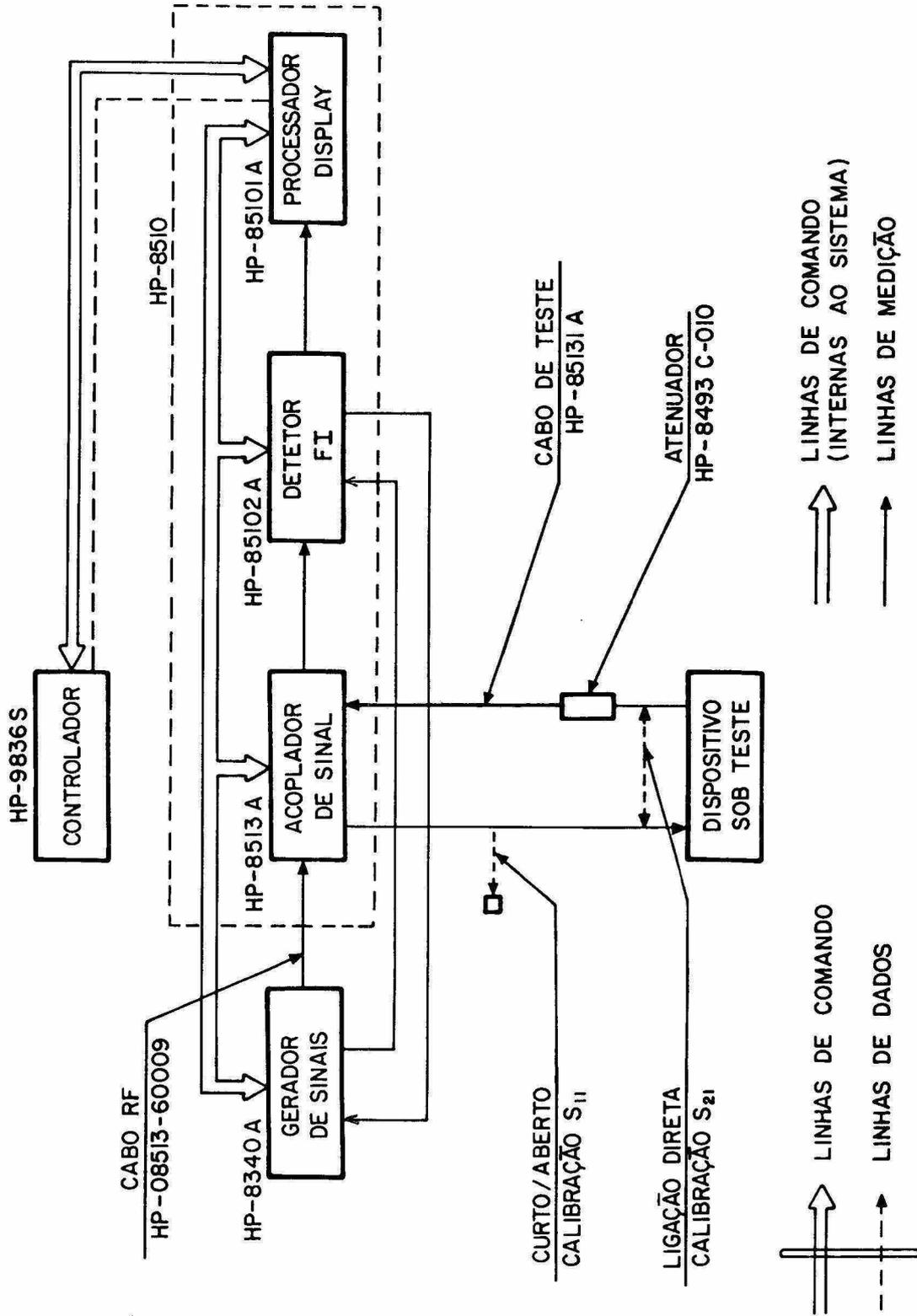


Fig. 23 - Configuração de teste - parâmetros "S" - CT 9.

#### 4 - Método de Teste

Em termos gerais, a sequência de medição pode ser dividida em três partes: configuração dos equipamentos (que inclui inspeção e limpeza dos conectores), calibração e medição do dispositivo sob teste. Numa aplicação típica, o sistema é configurado para uma medição específica e realiza-se a calibração para cada parâmetro a ser medido, a qual é armazenada na memória. O dispositivo sob teste é conectado ao sistema de medição, sua resposta é medida, e os dados já corrigidos são apresentados no "display". Detalha-se a seguir a sequência geral deste teste.

a) Conectar os equipamentos segundo disposição no item 3 da Seção 2.6.3, Figura 23 (primeiramente sem o dispositivo a ser testado), devendo-se cuidar para que:

- todos os conectores estejam não-danificados e limpos;
- todas as conexões sejam feitas de modo a assegurar um contato mecânico entre as interfaces de uma forma consistente e repetitiva;
- os cabos não estejam fletidos mais que o estritamente necessário.

b) Acionar a tecla "preset", colocando o sistema no estado padrão, para que o sistema automaticamente fixe (programação feita em fábrica) as características dos blocos de dados : "estímulo", "parâmetro", "formato" e "resposta" (tais características podem ser mudadas através da tecla "menu" em cada bloco de dados).

c) Fixar através do bloco "estímulo" as frequências de início e fim de varredura, não acionando a tecla "menu" se as

restantes características deste bloco foram consideradas adequadas (número de pontos, nível de sinal, tempo de varredura, etc.).

- d) Fixar qual o parâmetro a ser medido ( $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ) por meio do bloco "parâmetro". No estado "preset" o canal 1 mede  $S_{11}$  e o canal 2 mede  $S_{21}$ . Podem-se redefinir os parâmetros "S" através da tecla "menu", e mudar também o nível de sinal (dBm) no primeiro conversor de frequência do acoplador de sinal.
- e) Fixar através do bloco "formato" a medida desejada, ou seja: "log mag" = ganho/perda de inserção, "delay" = atraso de grupo, "lim polar" =  $S_{21}$ , etc. Oito diferentes "formatos" são possíveis de serem escolhidos através da tecla "menu", além dos já mostrados nas teclas deste bloco de dados.
- f) Fixar por meio do bloco "resposta" a escala e o valor de referência desejados para a medida. Através da tecla "menu" pode-se adicionar uma defasagem específica para frequências ("phase offset"), remover ruídos aleatórios ("averaging on") e aplinar a resposta através da tecla "smoothing on".
- g) Realizar a calibração adequada para cada parâmetro a ser medido ( $S_{11}$  ou  $S_{21}$ ) através da tecla "cal" e armazená-la na memória através da tecla "save".
- h) Conectar o dispositivo sob teste de acordo com o diagrama de teste.
- i) Escolher o parâmetro e o formato em que a medida desejada deve ser apresentada na tela do HP 85101A.
- j) Acionar a tecla "market", posicionando a marca na posição desejada, e ler a resposta no visor.

## 5 - Comentários

a) O analisador de redes HP 8510 possui um sistema automatizado de autoteste, que entra em funcionamento logo após o equipamento ser ligado. Se o sistema passa por todas as sequências de autoteste, automaticamente o sistema operacional será carregado e as medidas poderão ser iniciadas.

b) Na etapa de calibração, o sistema HP 8510 oferece três opções (modelos) possíveis de correção de erros.

Através da tecla "cal menu" pode-se escolher o conjunto de calibração específico.

c) Na calibração devem-se usar sempre os mesmos adaptadores e cabos utilizados na etapa de medição. Se a configuração de teste for mudada, o procedimento de calibração deverá ser refeito, a fim de encontrar os coeficientes de correção de erros apropriados à nova configuração.

d) Na inspeção e limpeza o condutor central dos conectores de acoplador de sinal, o equipamento e o operador devem estar aterrados.

### 2.6.4 - MEDIÇÕES DE REFLEXÃO ( $S_{11}$ , $S_{22}$ ) : PERDA DE RETORNO, SWR, COEFICIENTE DE REFLEXÃO, IMPEDÂNCIA E ADMITÂNCIA

#### 1 - Propósito do Teste

Determinar os parâmetros  $S_{11}$  ou  $S_{22}$  de um dispositivo ou rede.

#### 2 - Equipamentos de Teste

Os mesmos utilizados na Seção 2.6.3.

### 3 - Diagrama de Teste

O mesmo empregado na Seção 2.6.3, observando-se a configuração para a calibração específica para cada caso.

### 4 - Método de Teste

O método de teste a ser seguido é basicamente igual ao descrito no item 4 da Seção 2.6.3.

- os itens de a) a c) são idênticos;
- no item d) os parâmetros serão  $S_{11}$  e  $S_{22}$ ;
- no item e) fixar através do bloco "formato" a medida desejada, ou seja: "log mag" = perda de inserção, "SWR" = SWR, "lim polar" =  $S_{11}$ , "smith chart" = impedância, "inverted smith" = admitância;
- o item f) é igual ao correspondente no item 4 da Seção 2.6.3;
- no item g) a calibração deve ser feita em relação aos parâmetros  $S_{11}$  ,  $S_{22}$ ;
- o item h) é igual ao correspondente no item e da Seção 2.6.3;
- os itens i) e j) são iguais aos correspondentes no item 4 da Seção 2.6.3.

### 5 - Comentários

Os mesmos feitos no item 5 da Seção 2.6.3.

### 3 - ATERRAMENTO E BLINDAGEM DE CONJUNTOS DE MEDIÇÃO

#### 3.1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Em sistemas de testes, principalmente naqueles em que se quantificam sinais de baixo nível, deverá haver uma atenção especial em relação ao aterramento e à blindagem dos componentes deste sistema. Basicamente as principais fontes de interferência (ruído por acoplamento) dentro de tais sistemas são:

- a) Cabos Condutores: Um cabo que percorre um meio ruidoso tem grande probabilidade de captar ruídos indesejados e transferi-los para o sistema, principalmente os cabos de força conectados ao sistema.
- b) Impedância Comum: Quando correntes vindas de dois circuitos diferentes fluem através de um ponto de impedância comum, a voltagem de terra de cada um deles é afetada pela do outro, como se pode ver na Figura 24.

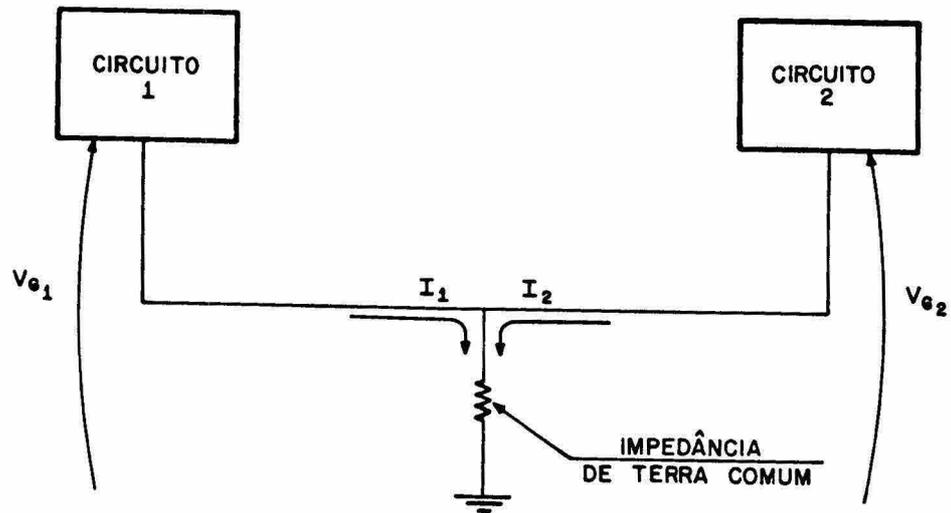


Fig. 24 - Ruídos por acoplamento: impedância comum.

c) Campos Elétricos e Magnéticos: Ocorrem sempre que há movimento de cargas elétricas ou existe uma diferença de potencial. Tais campos interferentes podem por retificação aparecer como erros CC nas medidas, assim como causar um comportamento não-linear em circuitos ativos. A blindagem nestes casos torna-se imperiosa.

Para eliminar ou minimizar tais efeitos, várias técnicas são empregadas: isolamento, balanceamento, blindagem e aterramento.

Nas seções seguintes serão discutidas especificamente as duas últimas técnicas.

### 3.2 - BLINDAGEM

A blindagem em sistemas de medição, nos quais acoplamentos capacitivos (campo elétrico) e indutivos (campo magnético) podem se fazer presentes, é de importância fundamental para a realização de medições corretas. Os geradores devem ser blindados para que não irradiem campos interferentes, e os receptores, para que não recebam tais interferências.

Por meio de superfícies metálicas relativamente delgadas, consegue-se uma blindagem contra campos elétricos, suprimindo os efeitos perturbadores destes campos a partir de frequências próximas de zero.

Em relação à blindagem dos campos magnéticos, para  $F < 1$  kHz consegue-se blindagem magnética estática, utilizando materiais de alta permeabilidade. Para frequências mais elevadas a penetração dos campos em metais é atenuada através das perdas por correntes de Foucault, empregando materiais com elevada condutividade elétrica e/ou magnética, nos quais é pequena a espessura equivalente da capa condutora.

### 3.3 - ATERRAMENTO

Os sistemas de medição para minimizar os efeitos de propagação e acoplamento de interferência eletromagnética devem utilizar técnicas apropriadas de aterramento, as quais deverão ser efetivas em toda a faixa de frequências geradas dentro do sistema ou no meio ambiente em que este estiver.

Nos aparelhos de medição, procura-se evitar que sejam originadas correntes perturbadoras com a frequência de medição do conjunto, como consequência da conexão com a rede. Isto se consegue através de uma pequena resistência de acoplamento ou através do desacoplamento por meio de bobinas e com medidas de proteção, tais como o isolamento de proteção e outros que, somente no caso de defeito, ligam a caixa do aparelho com o condutor de proteção. Para que nos aparelhos

providos de terra de proteção (aterramento adicional via cabo de alimentação) não surjam correntes perturbadoras da rede do conjunto, o condutor de proteção deverá ser concebido basicamente sem corrente, ou a fonte de alimentação de todos os aparelhos pertencentes ao conjunto de medição, inclusive a do objeto de medição, deverá ser ligada diretamente ao mesmo ponto.

### 3.4 - PROCEDIMENTOS BÁSICOS PARA ATERRAMENTO/BLINDAGEM

Resumidamente sugerem-se as seguintes regras básicas para blindagem e aterramento de sistemas:

- a) Os cabos blindados usados para proteger condutores onde trafegam sinais de baixo nível deverão ser aterrados somente de um lado. Os cabos coaxiais usados em altas frequências podem ter a sua blindagem aterrada nas duas pontas.
- b) Em relação aos conectores, dever-se-á cuidar para que:
  - condutores com alto e baixo nível de sinal estejam separados no conector;
  - condutores aterrados sejam colocados entre os condutores de sinal, quando possível;
  - qualquer pino do conector não-usado seja aterrado.
- c) Os cabos de terra deverão ser tão curtos quanto possível. A maioria dos sistemas requerem três cabos de terra separados: um cabo de terra de sinal, um para a "carcaça" e outro para terras ruidosas (motores, circuitos de alta potência, etc.). Se houver distribuição CA através do sistema, o terra de proteção deverá ser conectado ao terra da "carcaça". Estes três cabos devem ser conectados em um único ponto, como pode ser visto na Figura 25.

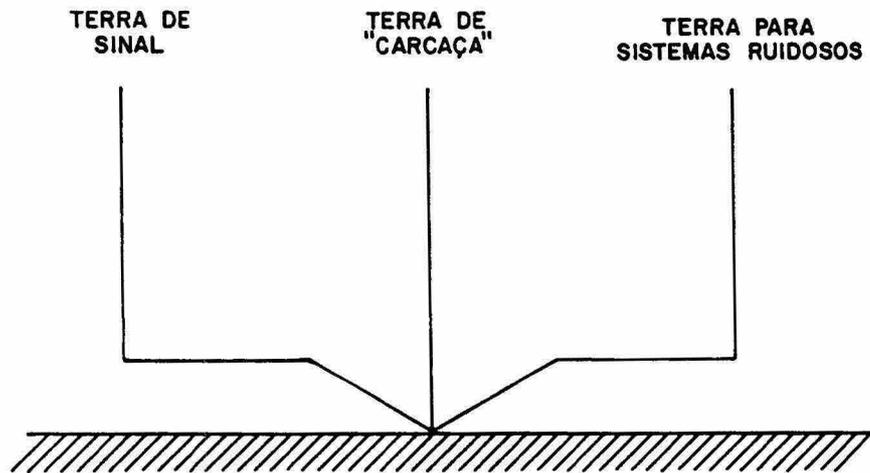


Fig. 25 - Aterramento em um único ponto.

- d) O comprimento de condutores de sinais de baixo nível deverá ser mantido tão curto quanto possível.
- e) Deverã ser usada linha de distribuição de potência de baixa impedãncia.
- f) Deverã ser evitada malha fechada de terra.

#### 4 - INCERTEZA NAS MEDIDAS : FONTES DE ERRO E PRECAUÇÕES

##### 4.1 - FONTES DE ERRO

1 - Em razão de diversos fatores tais como imperfeição inevitável dos instrumentos de medição, de padrões e do objeto de medição, o resultado de uma medição nunca poderá ser absolutamente preciso. Deve-se aliar a estes fatores a insuficiência dos conhecimentos e do domínio das condições de medição (estes fatores serão detalhados na Seção seguinte). Portanto, o resultado da medição sempre terá erros que poderão ser tanto aleatórios como sistemáticos:

a) Erros aleatórios: São os provocados por variações imprevisíveis das condições de medição (temperatura, instabilidade nas características dos componentes do aparelho, etc.). Tais erros variam o seu módulo e sinal indistintamente, de modo que seu efeito individual não pode ser previsto, sendo o resultado da medição incerto. Não obstante, podem ser estimados, e quanto maior for o número de medições realizadas, maior será a precisão.

b) Erros sistemáticos: São aqueles cujas causas podem ser conhecidas ou descobertas através de pesquisas sistemáticas.

Os erros sistemáticos são detectados mais cedo ou mais tarde devido ao seu sinal definido.

2 - Na realização de testes em equipamentos ou sistemas, mesmo considerando que o gerador de sinal, o dispositivo sob teste e o instrumento de medida estejam em perfeitas condições, poderão ainda ocorrer erros. Estes erros são oriundos, por exemplo, de: acopladores e atenuadores, perdas devidas ao descasamento de conectores e aos cabos, etc.

Pode-se, portanto, afirmar que o resultado de uma determinada medida representa apenas uma boa aproximação do valor da grandeza medida.

#### 4.2 - PRECAUÇÕES

1 - Portanto, para que se possam obter medidas confiáveis deve-se procurar seguir as seguintes "regras":

a) Conhecer os parâmetros que devem ser testados.

Por questões econômicas e práticas, não se deve realizar sempre todos os testes possíveis num dispositivo ou equipamento, mas sim definir a "priori" quais são os parâmetros que melhor caracterizam o dispositivo ou sistema, para depois submetê-lo aos testes.

b) Ter uma configuração correta de teste.

A realização de testes corretos envolve não apenas a escolha de instrumentos adequados, também a sua configuração própria e o conhecimento da operação de tais instrumentos.

c) Saber como realizar o teste.

Para cada parâmetro a ser medido deverá haver um procedimento que deve ser seguido para a obtenção correta da medida.

d) Interpretar corretamente os resultados.

O objetivo final de um conjunto de testes são os resultados, mais corretamente as informações que possam ser retiradas de tais resultados. Portanto faz-se necessário que os três itens anteriores sejam seguidos e haja um embasamento teórico adequado para analisar com precisão os dados obtidos.

2 - Dentro de um planejamento que objetiva a realização de testes corretos, onde as "regras" citadas são importantes, aliadas a todos os comentários (específicos para cada medição) feitos durante as diversas seções deste trabalho, as seguintes precauções básicas devem ser seguidas:

- a) Evitar forçar conectores e verificar se estão adequadamente apertados e alinhados.
- b) Evitar adaptadores, utilizando sempre os conectores especificados.
- c) Evitar usar conectores BNC acima de 500 MHz.
- d) Assegurar-se da utilização do cabo correto em cada aplicação.
- e) Verificar sempre as voltagens CC em dispositivos ativos antes de aplicar potência RF.
- f) Colocar todos os medidores em escalas superiores antes de iniciar os testes.
- g) Verificar as especificações de potência permissível de RF dos equipamentos envolvidos (medidor de potência, analisador de espectro, etc.) antes de conectá-los ao dispositivo sob teste.
- h) Assegurar-se, quando for o caso, de que todos os guias de onda estejam alinhados e as flanges limpas.

BIBLIOGRAFIA

- 1 - BIDLINGMAIER, M.; HAAG, A.; KUHNEMANN, K. - "Técnicas de Medição em Telecomunicação". São Paulo, Siemens, 1984.
- 2 - HEWLETT-PACKARD APPLICATION NOTE ≠ 57-1, 64-1, 64-2, 95-1, 150-10, 150-11, 191-3, 196, 200-1, 283-1, 286-1, 328-1.
- 3 - HEWLETT-PACKARD PRODUCT NOTE ≠ 8970A-1, 5335A, 8566A, 85650A-1, 11729B-1.
- 4 - HEWLETT-PACKARD PROGRAMMING NOTE ≠ 8566A, 9835-1, 5342A-1.
- 5 - LANCE, A.L. - "Introduction to Microwave Theory and Measurements". New York, McGraw-Hill, 1970.
- 6 - LAVERGHETTA, T.S. - "Handbook of Microwave Testing". Massachusetts, Artech House, 1981.
- 7 - LAVERGHETTA, T.S. - "Microwave Measurements and Techniques". Massachusetts, Artech House, 1976.
- 8 - OLIVER, B.M.; CAGE, J.M. - "Electronic Measurement and Instrumentation". Tokyo, McGraw-Hill, 1971.
- 9 - OTT, H.W. - "Noise Reduction Techniques in Electronic Systems". New York, John Wiley and Sons, 1976.
- 10 - SANZ, P.P.N. - "Sistema de Comunicação do Banco de Teste". São José dos Campos, INPE, 1985.
- 11 - STROCK, O.J. - "Telemetry Computer Systems". New York, Instrument Society of America, 1983.