

INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
SECRETARIA DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
AUTARQUIA ASSOCIADA À UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA PSDREC E SUA UTILIZAÇÃO PARA O
RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE ESPECTROS DE POTÊNCIA DOS
SISTEMAS DINÂMICOS**

JOSÉ ROBERTO MENEZES MONTEIRO

**Dissertação apresentada ao Instituto de
Pesquisas Energéticas e Nucleares como
parte dos requisitos para obtenção do
grau de "Mestre na Área de Reatores
Nucleares de Potência e Tecnologia do
Combustível Nuclear".**

Orientador: Dr. Lao Holland

**São Paulo
1979**

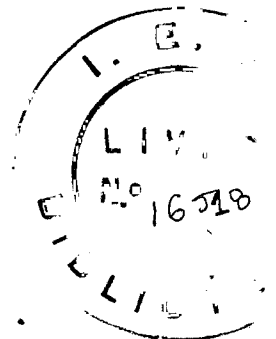
INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia
Autarquia associada à Universidade de São Paulo

**IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA PSDREC E SUA UTILIZAÇÃO
PARA O RECONHECIMENTO AUTOMÁTICO DE ESPECTROS DE
POTÊNCIA DOS SISTEMAS DINÂMICOS**

José Roberto Menezes Monteiro

Dissertação apresentada ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares como parte dos requisitos para obtenção do grau de "Mestre", na Área de Reatores Nucleares de Potência e Tecnologia do Combustível Nuclear.

Orientador: DR. LAO HOLLAND



São Paulo

1979

**INSTITUTO DE PESQUISAS ENERGÉTICAS E NUCLEARES
I. P. E. N.**

E R R A T A

linha	onde se lê	leia-se
4	...dos danos de...	...dos dados de...
25	...sensível de mais...	...sensível demais...
5	/51,45,9,54/	/51,45,9,53/
9	para se o dianóstico	para se fazer o diagnós-
		tico
15	/53/	/54/
6	análise de sinais de	monitoração de sistemas
	sistemas	
12	para calcular a	para calcular e
16	operações que ocorrem	interações que ocorrem
27	PSD	DEP
4	distribuição gaussianas	distribuições gaussianas
10	de sinal monitorado	do sinal monitorado
33	sensibilidade e condi	sensibilidade a condições
	ções	
14	/54,4/	/53,4/
2	Supondo-se que uma	Supondo-se que haja uma
19	Assim $S_x(\frac{n}{t})$	Assim $S_x(\frac{n}{T})$
12	Notamos que	Note-se que
17	Notamos que	Note-se que
4	Nota-se	Note-se
16	amplitude significan	amplitudes significantes
	tes	
3	,isso se faz	.Quando se faz isso
9	inteiro de período	inteiro de períodos
13	janelas usadas	janelas que existem
24	duas fazes	duas fases

E R R A T A (cont.)

pg	linha	onde se lê	leia-se
42	20	foram excedidos	for excedido
49	23	$\mu_{VII} = \frac{2P \cdot n}{n+P}$	$\mu_{VII} = \frac{2pn}{n+p}$
50	2	$\sigma_{VII} = \frac{2P \cdot n \cdot (2P - P - n)}{(P+n)^2 (P+n-1)}$	$\sigma_{VII} = \frac{2pn(2pn-p-n)}{(p+n)^2 (p+n-1)}$
50	9	$M(R_k) = \frac{r - k - 2}{2^k}$	$M(R_k) = \frac{r-k-2}{2^k}$
50	15	$K = \frac{\ln\left(\frac{M(R_K)}{r}\right)}{\ln(0,5)}$	$K = \frac{\ln\left(\frac{M(R_K)}{r}\right)}{\ln(0,5)}$
52	8	$\frac{D_{IV} - M_{LR}}{S_{LR} \sqrt{r}} \leq C_{IV}$	$\frac{D_{IV} - M_{LR}}{S_{LR} / \sqrt{r}} \leq C_{IV}$
52	9	$\frac{D_V - M_{SLR}}{S_{SLR} \sqrt{r}} \leq C_V$	$\frac{D_V - M_{SLR}}{S_{SLR} / \sqrt{r}} \leq C_V$
52	11	medida das razões log	média das razões log
52	17	a média para uma distri- buição	a média teórica para uma distribuição
53	13	($C_i = I, II, \dots$)	($C_i, i=I, II, \dots$)
56	4	Os subscritos A e N	Os subscritos N e A
56	6	Ou pode ser mais curto $C = C_{II}$ (alarme) ou C_{III} (perigo)	_____
59	23	figura 3.5	figura 3.4
60	11	figura 33	figura 3.3
60	26	de até 16 sinais	de até 8 sinais
61	30	esta região da memória que servia	esta região da memória servia
65	9	(usado na fase de moni- toração)	(usado na fase de monitora- ção)

fig. 3.4-Estrutura Lógica
do programa PSDREC

E R R A I A(cont.)

pg	linha	onde se lê	leia-se
68	leg. da fig. 3.1	figura 3.1	figura 3.3
69	leg. da fig. 3.3	figura 3.3	figura 3.1
75	4	XFORM2.MAC	XFORM.MAC
75	26	A rotina de controle é	A rotina de controle do ADF é
81	6	se fizerem necessários	se fazem necessários
90	26	tabela 5.21	tabela 5.12
94	0	94	95
95	0	95	94
106	leg. da ⁱ tab. 5.10	-condições reais	-condições "reais"
108	17	A existência do período.	_____
136	4	4) ... espctros	4) ... espectros
141	24	(2)monitoramento	(2)monitoração
144	3	de 2024 para	de 2048 para
149	12	foram para casos ideais/	para casos ideais foram
150	30	D_I é excedido	D_i é excedido
151	20	Esse trabalho sobre	Este trabalho abre
183	4	Conversão	Conversor

A meus Pais

A Leila

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

- Dr. Lao Holland pela amizade e valiosa orientação dispensada no transcorrer deste trabalho
- Dr. Kerlen R. Piety, do Oak Ridge National Laboratory por sua colaboração no transcorrer deste trabalho
- Eng^o Pedro Bento de Camargo pelo apoio e incentivo recebido durante o transcorrer deste trabalho
- Dr. José Antonio Dias Dieguez , Gerente do Centro de Engenharia Nuclear do IPEN pelo seu auxílio e incentivo no transcorrer do trabalho
- Eng^o Peter Barry, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas
- Colega Eduardo Lavenère Machado , da Universidade do Tennessee , por sua colaboração e sugestões
- Luiz A. Vicentini por seu trabalho na ordenação bibliográfica
- Srtas. Creusa Moreira Diniz, Marina Takumaru, Virginia França e Daisy Caliô pela parte datilográfica deste trabalho
- Aos Colegas do CEN e em particular os do Laboratório do Van de Graaff e Área de Térmica de Reatores pela colaboração dada no transcorrer deste trabalho
- Finalmente, a todos aqueles que, direta ou indiretamente , prestarão sua colaboração expresso os meus agradecimentos.

SUMÁRIO

Foi implantado o programa PSDREC no IPEN. Tal programa foi originalmente feito para um minicomputador PDP 11/20 com memória disponível para programação de 28 kW, sendo implantado no PDP 11/45 do IPEN que utiliza um sistema RSX11M e tem uma memória disponível de 22kW para programação.

Devido às diferenças no equipamento periférico, foram feitas modificações no sistema original usado para fazer gráficos e no "driver" do conversor analógico-digital.

Na implantação deste programa para análises "off-line" foram feitas modificações para permitir a indicação de todas as frequências individuais que estejam fora dos critérios de aceitação em vez de indicar somente os valores extremos (superior e inferior).

Foi reorganizada a estrutura "overlay" do programa para permitir que ele opere dentro da reduzida memória disponível.

O programa foi empregado para identificar anomalias simuladas que incluam variações de frequências de picos sobrestados e variações de amplitude em picos singulares. Além disso o programa foi empregado na análise das vibrações de um conjunto motor bomba hidráulica. Foram simuladas condições anômalas nas vibrações através da modificação das condições de operação.

ABSTRACT

PSDREC is a computer program used to automatically identify differences or anomalies between otherwise similar spectra. This program has been made operational for off-line use in IPEN on a PDP 11/45 minicomputer which uses the RSX11M system and has a memory capacity of 22 kW available for programming. The program was originally developed for a PDP 11/20 with an available programming memory capacity of 28 k words (kW). Reorganization of the program overlay structure was made to accommodate the reduced memory size. Differences in the peripheral equipment necessitated modifications being made to the graph routine and to the driver of the analog to digital converter. The principal change in the program analysis capacity is that frequencies of all anomalous points are now identified instead of only the frequencies of the two extreme (upper and lower) anomalous conditions.

A series of anomalous conditions has been simulated in which the relative amplitude of sinusoidal and white noise signals and the frequency separation of adjacent sinusoidal frequencies were modified. In addition, the program has been used to analyse the vibration signals of a hydraulic pumping system in which anomalous conditions were simulated through changes in the operating conditions.

ÍNDICE

	Pag.
1. INTRODUÇÃO	1
1.0- Apresentação	1
1.1- Generalidades	1
1.1.1- Situação da Análise de Ruídos	1
1.1.2- Técnicas de Análise	4
1.1.3- Colocação do Problema	5
1.1.4- Apresentação da Possível Solução	8
1.2- Objetivos	11
1.3- Revisão Bibliográfica	11
2. TEORIA	18
2.0- Apresentação	18
2.1- Teoria Referente aos Espectros	18
2.1.1- A Transformada Discreta de Fourier (TDF)	18
2.1.2- Intervalo de Nyquist e o Teorema da Amostragem	21
2.1.3- A Transformada Rápida de Fourier (FFT)	25
2.1.4- A Densidade Espectral de Potência (DEP)	30
2.1.5- A Distorção por Sobreposição de Espectros	33
2.1.6- Utilização das Janelas "Hanning"	35
2.2- Análise dos Espectros Empregados	40
2.2.1- Tipos de Espectros Empregados	40
2.2.2- Aprendizado e Monitoração	41
2.2.3- Discriminadores Estatísticos	42
2.2.3.1- Discriminadores D_I	43
2.2.3.2- Discriminadores D_{II} e D_{III}	43

	Pag.
2.2.3.3- Discriminador D_{IV}	43
2.2.3.4- Discriminador D_V	44
2.2.3.5- Discriminadores D_{VI} , D_{VII} e D_{VIII}	44
2.2.4- A Distribuição Estatística das Razões log	45
2.2.5- Os Testes das Características globais de cada Espectro	48
2.2.6- Aceitação e Correção dos Parâmetros	50
2.2.7- Critérios de Aceitação Iniciais	53
2.2.8- Atualização dos Critérios de Aceitação	54
3. O PROGRAMA PSDREC	59
3.0- Apresentação	59
3.1- Descrição Geral	59
3.2- O Minicomputador e seu Equipamento Complementar	60
3.3- Análise e Armazenamento de Dados	60
3.4- Funcionamento do Programa	62
3.5- Descrição dos Segmentos	63
3.5.1- Segmento Principal ("root")	63
3.5.2- Segmento "Overlay" nº 1	63
3.5.3- Segmento "Overlay" nº 2	63
3.5.4- Segmento "Overlay" nº 3	63
3.5.5- Segmento "Overlay" nº 4	64
3.5.6- Segmento "Overlay" nº 5	64
3.5.7- Segmento "Overlay" nº 6	64
4. IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PSDREC	70
4.0- Apresentação	70
4.1- O Sistema Operacional RSX11M	70
4.2- O PDP 11/45 e seu Equipamento Complementar	72
4.3- O Sistema e o Módulo TTY.MAC	73

	Pag.
4.4- Instruções Assembler do Sistema RT-11	74
4.5- A Rotina de Controle do CAD	75
4.6- Modificações para a Instalação do Programa na Memória	77
4.7- O Módulo TTY.MAC do IPEN	79
4.8- Alocação de Espaço em Disco	80
4.9- Rotinas para Gráficos Instaladas no IPEN	81
4.10- Modificações em RATIO.FTN	83
4.11- Alocação Final de Memória e Funcionamento do Programa	83
5. RESULTADOS E COMENTÁRIOS	90
5.0- Apresentação	90
5.1- Situações para Aplicação do Programa	91
5.2- Parâmetros do Teste de Sobreposição	91
5.2.1- Equipamento Utilizado	96
5.2.2- Escolha da Faixa de Frequências para Análise	96
5.2.3- Teste da Sobreposição de Picos	97
5.2.4- Faixa Dinâmica do ADF	98
5.2.4.1- Circuito Utilizado	99
5.2.4.2- Resultado do Teste da Faixa Dinâmica	99
5.2.5- A Percepção de Anomalias pelos Espectros	100
5.2.6- Teste para Frequências Alta	101
5.3- Parâmetros para os Testes de Aumento de Nível de Picos	101
5.3.1- Teste do Aumento do Nível dos Picos	102
5.3.2- Teste do Número Mínimo de Blocos	102
5.3.3- Teste da Variação do Número de Blocos no Espectro Base	103

5.4- Aplicação do Programa PSDREC a uma Situação "Real"	104
5.4.1- Parâmetros Usados nas Análises	105
5.4.2- Equipamento Utilizado	106
5.4.3- Comparações entre os Trechos	107
5.4.4- Verificação Individual do Trecho 3	107
5.5- A Rotina de Estado Estacionário	108
6. RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	139
6.0- Apresentação	139
6.1- Resumo do Trabalho Realizado	139
6.1.1- Capítulo 1	139
6.1.2- Capítulo 2	140
6.1.3- Capítulo 3	142
6.1.4- Capítulo 4	143
6.1.5- Capítulo 5	144
6.2- Conclusões	146
6.2.1- Quanto à Implantação do Programa	146
6.2.2- Quanto aos Parâmetros Usados	147
6.2.3- Quanto à Capacidade de ver Variações de Frequência dos Picos	148
6.2.4- Quanto à Capacidade de ver Aumento em Amplitude dos Picos	148
6.2.5- Quanto ao Mínimo de Blocos para se ver Aumento de Nível	148
6.2.6- Quanto às Frequências de Amostragem	149
6.2.7- Quanto à Aplicação a Casos "Reais"	149
6.2.8- Quanto aos Discriminadores	150

	pag.
6.3- Sugestões para Trabalhos Futuros	151
APÊNDICE A	156
APÊNDICE B	161
APÊNDICE C	167
APÊNDICE D	171
APÊNDICE E	177
APÊNDICE F	183
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	192

1. INTRODUÇÃO

1.0- Apresentação

A análise de ruídos é um método usado para analisar o comportamento dos sistemas dinâmicos, e em particular dos reatores nucleares .

Neste trabalho são estabelecidos padrões para avaliar a operação dos sistemas.

1.1- Generalidades

Este trabalho é iniciado situando-se a análise de ruídos no campo nuclear; no segundo ítem fala-se das técnicas de análise existentes e a que usaremos; no terceiro , faz-se a colocação do problema que este trabalho pretende solucionar no âmbito da análise de ruídos e, finalmente, tem-se a apresentação de uma possível solução deste problema.

1.1.1- Situação da Análise de Ruídos

Devido à ênfase que se tem dado à segurança das Centrais Nucleares, certamente é de interesse que se desenvolvam novas técnicas de monitoração para os reatores nucleares . Dentro dessa linha é que desde 1969 o "Advisory Committee on Reactor Safeguards (ACRS)" , vem encorajando o uso do ruído contido nos vários sinais originários da flutuação dos parâmetros dos reatores para uma avaliação de seu funcionamento /47 /.

Há pelo menos três áreas principais onde se pode aplicar a técnica de ruídos nos reatores. Tais áreas são: (I) a da manutenção; (II) a do controle durante a operação normal e (III) a da verificação dos danos de projeto ./ 51 /.

Na área da manutenção, o uso do ruído em reatores seria uma espécie de extensão dos programas de controle de qualidade. Assim, o uso da análise de ruídos asseguraria as margens de operação especificadas pelos fabricantes de reatores e pelas agências de regulamentação nuclear. A técnica de ruídos permitiria, também, uma maior disponibilidade dos reatores. Isso seria possível, monitorando-se os indicadores do degradamento de performance dos componentes, conseguindo-se então a otimização e, talvez, a redução do número de inspeções e paralizações.

É um pouco difícil separar a 1ª área da segunda, mas, pode-se dizer que, a técnica de ruídos teria seu potencial de aplicação na área de controle, na otimização dos movimentos das barras de controle, de modo a se suprimir efeitos locais como por exemplo, as flutuações de xenônio, etc. Desse modo obteria-se uma operação mais econômica, pela melhor queima do combustível. Assim, a primeira área trataria da monitoração do comportamento médio de um sinal em busca de situações anormais, e a segunda área trataria da monitoração do comportamento local dos sinais buscando suprimir as variações que ocorrem durante a operação normal.

Por último, tem-se o uso da técnica de ruídos na verificação dos modelos usados no projeto dos sistemas de controle dos reatores nucleares. Geralmente, neste caso, o que se faz é introduzir perturbações nos reatores e correlacionar as várias respostas colhidas às características de sistema.

O presente trabalho se situa na 1ª. área ou seja no uso de ruídos para a detecção de condições anormais-anomalias.

Nos reatores nucleares as anomalias podem ser de vários tipos / 51, 45, 9, 54 /, tais como:

- 1 - Mecânica ou estrutural (0,1 a 100Hz) - originados - nas vibrações da placa matriz do combustível, vibrações do próprio combustível, das barras de controle, das bombas e tubulações e dos detectores de nêutrons. Esse tipo de anomalia tem importância em reatores de potência pois introduz perturbações na reatividade.
- 2 - Térmica (0,01 a 100Hz) -devida aos efeitos globais e locais, causados por variações na densidade do refrigerante. Essas variações podem ser devidas à turbulência, formação de bolhas, etc. Esse também é um tipo importante de anomalia, pois, também introduz perturbações na reatividade.
- 3 - Hidráulica (0,1 a 10Hz) - devidas à turbulência, cavitação e vórtices que as bombas de circulação, bombas de injeção e válvulas causam. Essas anomalias - também são importantes pela mesma razão das anteriores.
- 4 - Acústica e Ultra-acústica:
 - (a) Acústica (100Hz a 100kHz) - são causadas por vazamentos, pela cavitação dentro das bombas, por válvulas e, pelo atrito entre o refrigerante e as paredes dos tubos. Peças soltas dentro do reator também causam anomalias desse tipo.
 - (b) Ultra-acústica (100 kHz a 1MHz) - nesta categoria tem-se principalmente as ondas liberadas quando há deformação em materiais submetidos à tensão revelando assim, fissuras, deslocamento de grão, etc.

As anomalias acústica e ultra-acústica não causam perturbações na reatividade, porém, são importantes como instrumento de diagnóstico.

5 - Neutrônica (0,01 a 1Hz) - São perturbações na cadeia de fissão devidas aos nêutrons atrasados. Tem grande importância em reatores de potência, pois, afetam a reatividade.

Através da análise do ruído existente nos sinais estocásticos e estacionários provenientes dos medidores de fluxo neutrônico, de vazão do refrigerante, de temperatura, pode-se estabelecer se um reator apresenta ou não uma anomalia / 18, 20, 46 / .

1.1.2- Técnicas de Análise

Basicamente temos três técnicas para a análise de séries temporais e a obtenção de espectros de ruídos: cálculo da correlação / 46 /, cálculo direto de espectros e procedimentos analógicos. Nos procedimentos analógicos - obtém-se o espectro de potência na faixa de frequência - compreendida entre f_1 e f_2 , calculando-se valores consecutivos da média quadrática (rms) para intervalos de frequência Δf .

O conjunto dos vários valores calculados para os vários intervalos de frequência forma um espectro / 42 /. Para que se obtenha a mesma resolução em frequência, as análises por métodos analógicos necessitam de um tempo significativamente maior, para serem feitas que as por métodos digitais. A aplicação dos métodos analógicos é mais restrita à monitoração de sinais dentro de um único intervalo Δf ./ 17 /.

As técnicas de cálculo da correlação e de cálculo direto dos coeficientes das transformadas discretas - de Fourier das séries temporais, são semelhantes em muitos pontos tais como: resolução, precisão e tempo de computação / 1 /. O uso da técnica da correlação na monitoração de um reator, mostrou a dificuldade de sua aplicação a análise em tempo real, isso devido ao tempo de computação ter sido muito maior que o de aquisição de dados / 8 /. A aplicação desta técnica é mais adequada quando se quer detectar sinais determinísticos mascarados em um sinal randômico / 4 /.

Com o uso do algoritmo chamado Transformada Rápida de Fourier (FFT)*obtem-se Densidades Espectrais de Potência (DEPs) dos ruídos com maior rapidez e ocupando-se menos memória dos computadores que, com os métodos analógicos anteriormente empregados. A aplicação da técnica de cálculo direto de espectros permite a avaliação das características básicas do sistema físico envolvido.

Neste trabalho trataremos da análise de espectros de ruídos obtidos através da Transformada Rápida de Fourier.

1.1.3- Colocação do Problema

Com o uso da técnica da FFT pode-se dispor de grande número de DEPs em tempo relativamente curto. Este é um fator decisivo para a implantação de um sistema de monitoração, pois este deve ser capaz de reconhecer anomalias rapidamente. Mas, por outro lado, isto também representa um problema pois, tem-se agora, um número maior de espectros a serem examinados em busca de anomalias. Normalmente esse exame ou análise, era feito por inspeção visual

* Do inglês "Fast Fourier Transform", sigla empregada pela maioria dos autores internacionais

sual nos gráficos dos espectros retirados de ruídos previamente gravados. Com tal método é claro, que a análise de espectros de um sistema durante seu funcionamento, não é viável, assim sendo, é necessário que haja um sistema automático para executar esta tarefa.

O segundo problema é quanto à capacidade de se identificar e se poder afirmar que determinado espectro contém anomalia. Essa última questão está ligada ao problema de aceitação de espectros e da biblioteca de espectros.

Numa biblioteca de espectros / 43 / são reunidos os espectros de vários sinais, representativos de diversas condições operacionais normais e anormais, dos vários tipos de reatores de potência. Assim, quando se quisesse ver se um reator está operando "corretamente", bastaria comparar seus espectros com os contidos na biblioteca.

Apesar do esforço que se desenvolve atualmente para se fazer a biblioteca de espectros / 43 , 35 , 16), tem-se dificuldade em fixar dois parâmetros de aceitação importantes: (I) qual o desvio de frequência (Δf) aceitável para os DEPs (Fig. 1.1); (II) qual a variação de amplitude (ΔA) aceitável nas componentes espectrais. Assim, o problema será fixar, nos programas de análise e monitoração automática, níveis de aceitação tais que o programa não se torne sensível de mais, evitando alarmes falsos.

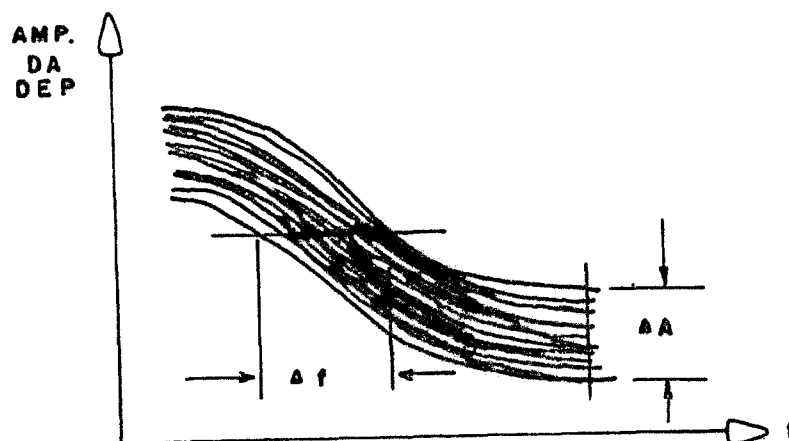


FIG. 1.1- Variação de Amplitude e Frequência nos Espectros.

Em uma abordagem mais ampla, a aplicação da técnica de ruídos à monitoração dos reatores, tem mais um problema sério, ainda não resolvido. Esse problema é o da ação que a concessionária de serviços de energia elétrica deve tomar, no caso de se detectar uma anomalia nos espectros de seu reator. É certo que nem sempre deve-se desligar o reator quando da detecção de uma anomalia, devido ao alto custo de uma operação desta natureza, e mesmo que se consiga identificar o agente causador da anomalia, ainda assim; na maioria dos casos, não se pode quantificar por meio desta técnica; a extensão e importância dos problemas havidos:

Atualmente já se está fazendo experiências visando a quantificação de determinados tipos de anomalias, tais como na estimativa da massa de peças que estejam soltas dentro do reator / 16 /.

Outro campo onde já existe bastante progresso na quantificação de anomalias por meio de espectros é o da monitoração de vibrações em máquinas rotativas. Desde 1964, já se usava as amplitudes e frequências das vibrações de motores e bombas para se o diagnóstico de defeitos tais como desalinhamento e desacoplamento / 5 /. Nos anos seguintes o refinamento da análise trouxe a possibilidade de se prever problemas até de lubrificação / 28 /, e novas técnicas foram introduzidas / 29 / extendendo-se o monitoramento à vibração de turbinas e compressores. Para instalações de grande porte, como as centrais nucleares, a monitoração das vibrações de máquinas rotativas / 9 / já é considerada econômica / 38 /. Existem ainda outras aplicações específicas comprovadas da análise de ruídos em reatores, que são a detecção de oscilações pendulares de caroço / 19 / e a detecção de movimento dos tubos da instrumentação nuclear no interior do caroço / 3 /.

Contudo, nos outros campos de aplicação existentes para a análise de ruídos dentro das centrais nucleares, a persistência da incerteza em alguns aspectos relacionados à quantificação dos defeitos que causam as anomalias, certamente, é o que torna difícil a aceitação da técnica pelas agências de regulamentação nuclear e as concessionárias.

1.1.4- Apresentação da Possível Solução

Neste trabalho será proposta uma solução para dois problemas ligados à análise :

- 1- a falta de um sistema que a realize automaticamente;
- 2- a quantificação de anomalias .

Não se pretende, portanto, estudar ou propor soluções para o problema da ação a ser tomada pela concessionária.

Desde 1975, que se usa sistemas automáticos baseados em mini computadores principalmente para a monitoração de vibrações de equipamentos e sua manutenção preventiva em grandes instalações industriais / 36 , 30 /.

Em 1977, já existiam vários sistemas desenvolvidos para a monitoração automática e diagnóstico de espectros de vários tipos de sinais. Assim, temos sistemas que se aplicam somente à sinais de vibrações em máquinas rotativas / 53 /, ou à localização de peças soltas e vazamentos / 16 /, ou à detecção de oscilações nos constituintes internos do caroço, peças soltas e impulsos de pressão e vazão / 37 /. Outros sistemas, como os que se desenvolvem na Westinghouse, fazem a monitoração específica de cada tipo de anomalia, como por exemplo, vibrações, peças soltas, vazamentos e vazão / 23 /. Esses sistemas específicos são compostos geralmente de circuitos apropriados a uma monitoração analógica / 17 / do sinal de interesse, a análise por meio de mini-computadores só é feita quando o sinal monitorado excede determinados níveis de aceitação.

Um programa computacional chamado PSDREC ("Power Spectrum Density Recognition") / 40 / foi recebido do Laboratório Nacional de Oak Ridge (ORNL)* e implantado no IPEN, para se estudar o uso das técnicas de reconhecimento de padrões ("Pattern Recognition") a ruídos.

* Do nome em Inglês do Laboratório "Oak Ridge Nat. Lab."

O programa usa as técnicas de reconhecimento de padrões ("Pattern Recognition") para a aceitação automática de espectros de potência de quaisquer sinais estocásticos e estacionários dos sistemas. O programa pode ser usado tanto para análise de sinais gravados (- análise tipo "off-line") como para análise de sinais de sistemas durante seu funcionamento (análise "on-line"). O uso das técnicas de reconhecimento de padrões permite que os níveis de aceitação sejam fixados automaticamente com base no aprendizado das variações em amplitude e frequência (ΔA , Δf) que os espectros de cada tipo de sinal possuem.

É mais apropriado que o programa PSREC seja implantado em um mini-computador, porque a análise de ruídos em centrais nucleares, é feita de modo mais conveniente em tais computadores.

Para que o PSDREC seja implantado é necessário que o computador possua um conversor analógico-digital (CAD) para que, se possa processar e analisar ruídos em tempo-real. A maior parte do programa está escrita em FORTRAN IV, porém, há várias subrotinas escritas em MACRO-assembly, linguagem particularmente empregada pelos computadores tipo PDP 11 da DIGITAL.

Com base no que foi dito decidiu-se implantar o programa no mini-computador PDP 11/45, existente no Centro de Engenharia Nuclear do IPEN. Com a implantação de tal programa espera-se tornar viáveis as análises automáticas de espectros.

Finalmente, deve-se dizer que a aplicação desse programa não se restringe somente à área de ruídos em reatores; ele pode ser aplicado a qualquer área onde haja a geração de um sinal estocástico e estacionário, que

tem distribuição gaussiana em frequência(vide Capítulo 2 para uma explicação pormenorizada).

1.2- Objetivos

Os objetivos desse trabalho são: 1) implantar o programa PSDREC, desenvolvido para o mini - computador PDP 11/20 , adaptando-o à configuração e ao sistema operacional existentes no PDP 11/45 do CEN; 2) fazer testes sobre a capacidade do programa reconhecer e identificar anomalias nos espectros.

1.3- Revisão Bibliográfica

A bibliografia aqui apresentada é relevante aos sistemas nos quais se usa mini-computadores para calcular e analisar automaticamente os espectros de potência dos sinais de ruído, usando a técnica de reconhecimento de padrões. A monitoração é feita em tempo-real e durante o funcionamento do sistema que está sendo analisado.

A introdução do computador trouxe rapidez ao cálculo de espectros discretos de séries temporais finitas , revivendo métodos de cálculo /31 / já esquecidos /2 / . Porém, havia um inconveniente, quando o número de termos (N) a se calcular era grande, o tempo de computação - crescia bastante, pois era proporcional a N^2 .

Em 1965, Cooley e Tukey /50 / relataram um algoritmo revolucionário chamado FFT que reduziu o tempo de cálculo de espectros a $2N \log_2 N$. Com isso, pode-se agora - usar a FFT para a monitoração em tempo-real e se ter - maior poder de resolução, pois podem ser calculados mais termos sem grande acréscimo no tempo de computação /33 /.

Dois anos depois, o subcomitê 30.4 (G-AE) do IEEE reafirma o grande valor da FFT, o que faz com que sejam publicados vários artigos sobre sua teoria /7 /, sua história /10 / (houveram outros pesquisadores que chegaram à conceitos parecidos com os de Cooley e Tukey, porém eram menos gerais) e aplicações diversas /52 , 44 /.

A partir de 1967, verificou-se uma crescente investigação /33 / e aplicação do algoritmo de FFT às análises de sinais estocásticos e estacionários dos sistemas durante seu funcionamento.

No ano de 1969, Kryter aplicou a FFT aos reatores "High Flux Isotope Reactor e Molten Salt Breeder Reactor" /32 /. Suas conclusões foram de que havia nascido um importante instrumento através do qual os engenheiros poderiam aumentar seu conhecimento sobre as partes inacessíveis do reator e , sobre as operações que ocorrem entre os diferentes sistemas e subsistemas.

Dois anos após, volta a falar Izumi /26 / da superioridade da FFT, cuja utilização torna os métodos analógicos /17 / ultrapassados sob o ponto de vista da quantidade de informações que os dois métodos podem extrair , particularmente do ruído neutrônico.

Em 1973, surge um sistema para análise e diagnóstico de anomalias através de espectros de reatores calculados por meio da FFT / 27/. Esse sistema incorpora um nível de alarme e é totalmente baseado na suposição de que as componentes do PSD tem uma distribuição de amplitude lognormal. Observe-se que o log de uma distribuição assimétrica é mais normal que a distribuição original. Esse foi o primeiro sistema que empregava algum critério de aceitação estatístico para os espectros conseguidos com a FFT.

Avanços importantes, na análise de ruídos, foram dados com a aplicação das técnicas de reconhecimento de padrões aos espectros conseguidos por meio da FFT. O reconhecimento de padrões tem sido aplicado com sucesso a trabalhos diversos /49 / , tais como no reconhecimento de caracteres alfanuméricos (processamento de dados), reconhecimento de impressões digitais (segurança pública), classificação automática de dados provenientes do sensoriamento remoto de satélites, aviões, etc (ecologia, previsão de safras, recursos naturais), classificação de eletrocardiogramas (medicina).

Em 1970, já se aplicavam as técnicas de reconhecimento de padrões a espectros calculados pela FFT (reconhecimento de espectros) na área do reconhecimento de palavras faladas, obtendo-se bons resultados / 6 / .

A idéia da aplicação do reconhecimento de espectros aliado à monitoração dos sinais dos reatores , foi inicialmente relatada em 1973 /34 / .

Em 1974, Gonzalez , Fry e Kryter /21 / empregaram os métodos de reconhecimento de espectros, para analisar e interpretar os dados sobre o ruído neutrônico do reator HFIR e ORNL. Foi projetado então um sistema capaz de aprender as características normais de operação do reator. Foi estabelecido também, um método para detecção de condições anormais baseado na classificação de todos os espectros referentes às diversas condições de operação, dentro de um número mínimo de grupos. Assim, os espectros referentes à mesma condição de operação, por exemplo, reator operando a 100 KW, são classificados dentro do mesmo grupo; enquanto as referentes à outra condição, por exemplo; reator operando à 1 MW, são classificadas em outro. Para a classificação usa-se um algoritmo chamado ISODATA. Deve-se observar que, só algumas componentes

dos espectros são classificadas e não os espectros inteiros. Cada espectro discreto é encarado pelo algoritmo como sendo um vetor n-dimensional de espaço Euclidiano. Cada grupo tem um centro dado pela média aritmética dos espectros. Como cada espectro é considerado um vetor, o centro também é chamado vetor central. Há também, um vetor variância associado a cada grupo. Cada grupo de espectros semelhantes também é caracterizado geometricamente, pois a distância do vetor que representa esse espectro ao centro de seu grupo é menor que sua distância a qualquer outro centro. A caracterização também é estatística pois existe uma distância máxima entre um espectro e o centro de um grupo fixada por meio da variância. Os espectros que não se encaixavam dentro de qualquer grupo eram considerados anômalos, e assim, conseguiu-se separar os espectros que indicavam falhas de componentes no caroço do reator HFIR.

Em 1976, Piety e Robinson / 41 / relataram um novo sistema de análise para a monitoração de reatores . Na ocasião em que foram feitos testes no reator HFIR e o sistema se mostrou sensível a variações que nem a instrumentação nuclear do reator foi capaz de detectar. Nesse algoritmo, assim como no que foi desenvolvido por Gonzalez / 21 /, há um período de aprendizado, onde é formada uma descrição estatística para cada classe (ou grupo) de dados, caracterizando as condições de operação. Após isso, então, passa-se uma fase de monitoração, onde por meio de um algoritmo tem-se indicação das anomalias. Aqui não são usados espaços Euclidianos mas, a chamada "Distância de Mahalanobis", que na verdade é uma medida probabilística multivariável. Após o período de aprendizado, essa "distância" passa a ser encarada como uma variável qui-quadrado com n graus de liberdade, porque as n componentes dos espectros são como variáveis gaussianas. Aqui também, não é feita a análise de anomalias em todas as regiões do espectro. Assim, pode-se estabelecer um nível de aceitação para a distância e portanto, para

os espectros . O principal problema verificado foi a suscetibilidade da descrição estatística a um vetor anormal que apareça durante o período de aprendizado. Dessa forma, o algoritmo tem sua capacidade de detectar condições anormais diminuído.

Ainda em 1976, temos o trabalho de Gonzalez, Howington, Sides Jr. e Kryter / 22 / relatando um novo sistema para monitoração. Esse sistema representa uma grande evolução quando comparado ao anterior. Entre suas características estão as seguintes. 1) análise independente do tipo de distribuição que se ajusta aos dados; 2) "memória variável com o tempo" - o sistema é capaz de esquecer as condições antigas que representavam os dados monitorados; 3) cada elemento do espectro (uma variável) é tratado independentemente, sendo calculada uma função de distribuição de probabilidade para cada variável; 4) o operador tem controle sobre o nível de aceitação dos espectros e, finalmente, 5) existe uma fase de pré-processamento dos dados, em que a DEP média de uma série é que é processado. As principais ferramentas de cálculo empregadas nesse sistema são: uma matriz de desacoplamento, através da qual se consegue a característica (3) acima; o uso de um teste de ajuste (Teste Kolmogorov-Smirnov, Teste K-S) e o das funções potenciais para se conseguir a característica (1); a atualização de parâmetros por bloco de dados, em vez de se atualizar cada dado que entre. Quando os dados tem distribuição gaussiana, esse algoritmo também funciona baseado na distância de Mahalanobis. Com esse algoritmo detectou-se perturbações de 0,1% introduzidas na potência do reator HFIR.

Finalmente, em 1977, Piety / 40/ propõe um novo algoritmo, chamado PSDREC para a análise de ruídos em reatores ou ainda, de máquinas rotativas ("rotating machinery"). A principal diferença entre este algoritmo e seus antecessores é que aqui é sacrificada a generalida

de do tipo de distribuição estatística que o sinal analisado possui. Enquanto o anterior admitia qualquer distribuição para as componentes da DEP, esse novo algoritmo só admite distribuição gaussianas. O que se perde em generalidade ganha-se em capacidade de detectar anomalias, porque com isso pode-se empregar vários testes estatísticos diferentes para julgar os espectros. As vantagens que se obtém quando se sacrifica a generalidade são: 1) permitido o uso de vários testes relativos às várias características de sinal monitorado, conseguindo-se uma identificação mais direta da mudança que ocorreu; 2) redução do tempo de aprendizado do comportamento normal de um sistema; 3) todas as componentes de um espectro (DEP) são analisadas e não apenas algumas como nos algoritmos anteriores.

O algoritmo emprega dois espectros para efeito de monitoração. Um é o espectro básico que nunca é modificado e é formado durante o aprendizado das características do sistema. Comparações com esse espectro permitem a visualização de mudanças que ocorrem lentamente. O outro espectro é chamado espectro de tendência, que normalmente é modificado (o uso deste espectro é melhor explicado mais adiante no item 2.2.1) e contém o espectro mais atual do sistema monitorado. As comparações com esse espectro permitem a visualização de mudanças mais rápidas. Além disso, o sistema possui dois níveis de alarme, fixados automaticamente para cada teste estatístico feito. Um é chamado nível de alerta, que faz disparar o alarme quando é excedido duas vezes consecutivas. O outro é o chamado nível de perigo que faz o disparo de alarme assim que é excedido.

Através das características expostas acima, o programa, quando de seu uso em ORNL, demonstrou alta sensibilidade e condições que poderiam indicar mal funcionamento.

Finalmente, devemos lembrar que esse programa é aplicável somente quando a DEP puder ser considerada - uma descrição adequada do sinal monitorado, não sendo - aplicável, por exemplo, a sinais que mostrem condições transitórias.

2. TEORIA

2.0- Apresentação

Neste Capítulo é considerada a teoria do Reconhecimento de Padrões, para aplicações às situações onde haja estacionaridade de quantidades com determinada variação estatística.

No item 2.1 é dada a teoria referente ao cálculo de espectros, amostragem e filtragem de sinais, que é usada para se conseguir os espectros a serem analisados. No item 2.2 tem-se a teoria empregada pelo programa PSDREC para analisar os espectros e indicar as anomalias.

2.1- Teoria Referente aos Espectros

Nos sub-itens 2.1.1, 2.1.2 e 2.1.3 mostra-se a teoria para o cálculo da FFT e amostragem dos sinais, essa teoria é disponível na literatura / 54 , 4 /, mas foi incluída para tornar mais completo o Capítulo. No sub-item 2.1.4 tem-se a teoria referente à DEP, e nos sub-itens 5 e 6 mostra-se a importância da filtragem e da aplicação de uma janela Hanning aos sinais.

2.1.1- A Transformada Discreta de Fourier (TDF).

Um sinal $x(t)$, periódico no tempo, que seja integrável, pode ser descrito usando-se séries de Fourier / 48 /.

Por meio dos coeficientes da série determina-se a amplitude de cada harmônico contido no sinal. Para superar a limitação que a periodicidade impõe à análise, as séries de Fourier são calculadas como se o período dos sinais $x(t)$ - fosse infinito / 24 /. A função que resulta é a transformada de Fourier de $x(t)$:

$$S_x(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi \cdot t \cdot f} \cdot dt \quad 2.1$$

e a partir de $S_x(f)$ pode-se definir a transformada inversa de Fourier:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_x(f) \cdot e^{j2\pi f t} \cdot df \quad 2.2$$

onde $e^{+j2\pi f t}$ é chamado de "kernel" da transformada de Fourier, e $j = \sqrt{-1}$.

A função $S_x(f)$ contém a informação da amplitude e fase de cada frequência presente em $x(t)$.

Como deverá ser usado um computador digital para fazer o monitoramento e os cálculos, a expressão (2.1) pode ser aproximada por outra mais apropriada:

$$S_x(f) \approx \Delta t \sum_{n=-\infty}^{+\infty} x(n \cdot \Delta t) \cdot e^{-j2\pi n \Delta t f} \quad 2.3$$

Note-se que quando Δt tende a zero, a expressão acima torna-se igual à expressão (2.1). A expressão (2.3) indica que se for obtida uma série de dados, resultantes da amostragem de um sinal contínuo a um intervalo $\Delta t > 0$ fixo, pode-se calcular sua transformada de Fourier. Porém, deve-se observar que a transformada assim obtida descreve o espec -

tro até uma frequência máxima F_{MAX} , pois Δt agora é finito, e portanto, pelo teorema da amostragem de Shannon, a maior frequência que pode ser amostrada é $1/2\Delta t$ (isto será explicado no item 2.1.2). Assim, deve-se impor ao sinal $x(t)$ a condição de não possuir frequência maiores que F_{MAX} . Ainda, na equação (2.3) deve-se notar que é necessário um número infinito de amostras (tomadas inclusive em tempos negativos) para o cálculo de $S_v(f)$. Como tal procedimento é impossível, o número de amostras N deve ser limitada a um número finito e positivo e obtem-se, então, uma janela de tempo T dada por:

$$T = N \cdot \Delta t$$

2.4

Quando N cresce a menor frequência F_{MIN} que se pode amostrar para um mesmo Δt diminui. Quando N tende à infinito a janela de tempo é aproximadamente infinita e F_{MIN} é aproximadamente zero. Ou seja, quanto maior N , maior o poder de resolução, e o espectro torna-se aproximadamente contínuo. Se N é finito o espectro é descontínuo tendo m componentes separadas por Δf Hz de resolução.

Como resultado das imposições de N finito e F_{MAX} feitas acima, tem-se a transformada de Fourier discreta e finita (TDF) / 7 / dada por:

$$S'(m\Delta f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) e^{-j2\pi m\Delta f \cdot n\Delta t} \quad 2.5$$

onde $S_x(m \cdot \Delta f) / \Delta t$ foi redefinido como $S'(m \cdot \Delta f)$ onde Δt atua como fator de escala. É interessante notar que o espectro de frequências acima descrito, deve pertencer a uma função periódica. Para efeito de cálculo, a equação (2.5) assume que o sinal $x(t)$ amostrado é periódico, com período T dado pela equação (2.4).

2.1.2- Intervalo de Nyquist e o Teorema da Amostragem

Supondo-se que uma amostra de sinal $x(t)$, contínuo e aleatório entre os tempos 0 e T segundos, e que essa amostra possua valores nulos em qualquer outro tempo t fora deste intervalo / 4 /. Sua transformada de Fourier será de acordo com (2.1):

$$S_x(f) = \int_0^T x(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \quad 2.6$$

Assumindo que $x(t)$ se repita continuamente, obtem-se uma função periódica com período T. Seu intervalo de frequência fundamental será / 4 /:

$$\Delta f = \frac{1}{T} \quad 2.7$$

Como $x(t)$ é uma função periódica integrável, pode-se fazer sua expansão em série de Fourier:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} A_n \cdot e^{j2\pi nt/T} \quad 2.8$$

$$\text{onde: } A_n = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-j2\pi nt/T} dt \quad 2.9$$

Substituindo-se (2.7), (2.8) e (2.9) em (2.6), obtem-se

$$S_x\left(\frac{n}{T}\right) = \int_0^T x(t) \cdot e^{-j2\pi nt/T} dt = T \cdot A_n \quad 2.10$$

Assim $S_x\left(\frac{n}{T}\right)$ determina A_n e portanto $x(t)$ para todo t. Por sua vez $x(t)$ determina $S_x(f)$ para todo f. Esse resultado é o Teorema da Amostragem no domínio da frequência, ou seja, um número infinito de amostras de $S_x(f)$ tomadas a intervalos constantes de $1/T$ determinam um sinal

periódico com período T .

Supondo-se agora que a transformada de Fourier $S_x(f)$ exista somente no intervalo que vai de $-F_{MAX}$ a F_{MAX} (Hz), e seja zero fora deste intervalo, então aplicando (2.2), a transformada inversa de Fourier fica:

$$x(t) = \int_{-F_{MAX}}^{F_{MAX}} S_x(f) \cdot e^{j2\pi ft} \cdot df \quad 2.11$$

Assumindo-se que $S_x(f)$ se repita continuamente em frequência, obtem-se uma função período $2F_{MAX}$. E o incremento fundamental de tempo é:

$$\Delta t = \frac{1}{2 F_{MAX}} \quad 2.12$$

E teremos $S_x(f)$ dada por:

$$S_x(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot e^{-j\pi n f / F_{MAX}} \quad 2.13$$

onde

$$C_n = \frac{1}{2 F_{MAX}} \int_{-F_{MAX}}^{F_{MAX}} S_x(f) \cdot e^{j\pi n f / F_{MAX}} \cdot df \quad 2.14$$

e da equação (2.11)

$$x\left(\frac{n}{2F_{MAX}}\right) = \int_{-F_{MAX}}^{F_{MAX}} S_x(f) \cdot e^{j\pi n f / F_{MAX}} \cdot df = 2F_{MAX} \cdot C_n \quad 2.15$$

Assim $x(n/2F_{MAX})$ determina C_n e portanto $S_x(f)$ para todo f . Esse resultado é o Teorema da Amostragem no domínio do tempo. O incremento fundamental de tempo $1/2F_{MAX}$ é

chamado intervalo de Nyquist. Assim infinitas amostras discretas de um sinal $x(t)$ tomadas a intervalos regulares de $1/2.F_{MAX}$ determinam um espectro contínuo que se repete a cada $2F_{MAX}$. As hipóteses assumidas aqui, tornam-se práticas quando os sinais são amostrados a intervalos de tempo finitos e filtrados.

Da equação (3.15), quando se amostra $x(t)$ a intervalo de $1/2F_{MAX}$, obtem-se o número de amostras de $x(t)$, no domínio do tempo, necessário para descrever $S_x(f)$ entre $-F_{MAX}$ e F_{MAX} , que é:

$$N_t = \frac{1}{1/2F_{MAX}} = 2F_{MAX} \cdot T \quad 2.16$$

Note-se que o número de amostras, no domínio da frequência, de $S_x(f)$, que descrevem $x(t)$, usando-se (2.10), será:

$$N_f = \frac{2F_{MAX}}{1/T} = 2 \cdot F_{MAX} \cdot T \quad 2.17$$

Como se vê, os números de amostras N são iguais nos dois domínios.

Deve-se notar que somente $N/2$ pontos do espectro de $x(t)-S_x(f)$ são reais, assim, N amostras de $x(t)$ originam $N/2$ frequências realizáveis. A ilustração dessa situação - aparece abaixo nas Figuras 2.1 e 2.2.

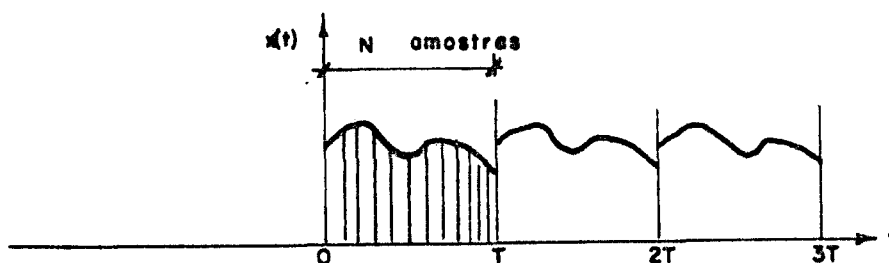


FIGURA 2.1- Sinal $x(t)$ com Período T

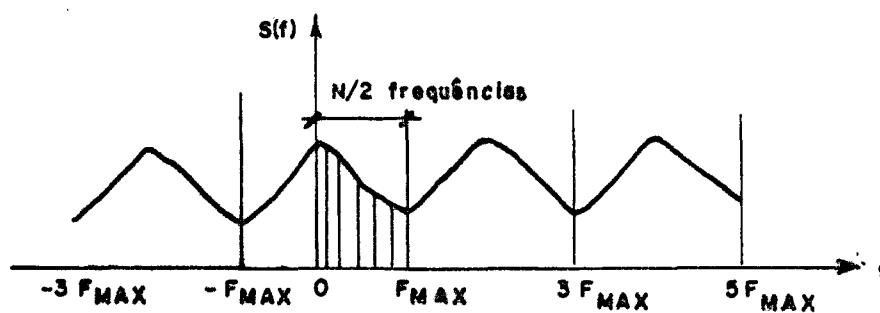


FIGURA 2.2- Espectros $S_x(f)$ de $x(t)$

Comparando a situação apresentada aqui neste ítem, e a do ítem anterior, vê-se que são as mesmas, então, devido ao teorema da amostragem, pode-se ver agora que na equação (2.5) m variará de 0 a $N/2$, porque só interessa calcular um intervalo de frequências reais.

Usando-se 2.12 e 2.15 pode-se definir uma frequência de amostragem F_A para $x(t)$:

$$F_A = \frac{1}{\Delta t} = 2 F_{MAX} \quad 2.18$$

Portanto a TDF fica agora:

$$S_x(m, \Delta f) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) \cdot e^{-j2\pi m \Delta f n \Delta t} \quad 2.19$$

$$m = 0, 1, \dots, \left(\frac{N}{2} - 1 \right)$$

Notamos que para a frequência $F_{MAX} = (N/2) \Delta f$ não se calcula $S_x(f)$, isso está de acordo com o Teorema de Shannon que diz que para se definir uma frequência são necessárias no mínimo duas amostras por período, ou seja $F_{MAX} < 1/2\Delta t$, pela equação (2.19) $F_{MAX} = 1/2\Delta t$, portanto, a frequência F_{MAX} não terá sua amplitude espectral definida.

2.1.3. - A Transformada Rápida de Fourier (FFT)

A Transformada Rápida de Fourier desenvolvida por Cooley e Tukey é um algoritmo que permite o cálculo da TDF rapidamente; além de reduzir os erros tipos "round-off" asso-

ciados com esses cálculos. Para se ter uma idéia, quando se calcula a TDF, por métodos convencionais, para $N=1024$ (bloco de 1024 dados) gasta-se 50 vezes mais tempo que com a FFT / 7 /. Além disso essa técnica possibilita o armazenamento dos resultados intermediários e finais sobre a sequência de dados originais desde que, para isso, tenham sido usadas $N/2$ posições de armazenamento de números complexos.

Em termos gerais a técnica pode ser interpretada como sendo a combinação de amostras individuais de $x(t)$ em subgrupos de amostras, mutuamente exclusivos, os quais, por sua vez são recombinaados até que se obtenha a TDF de uma série completa de amostras.

Suponha-se que haja uma série de N dados amostrados de um sinal $x(t)$ e que esses N dados estejam divididos em duas funções, Y_n e Z_n , cada uma tendo $N/2$ (Fig.2.3). A função Y_n sendo composta das amostras pares (x_0, x_2, x_4, \dots) e Z_n dos ímpares (x_1, x_3, x_5, \dots). Essas funções podem ser escritas como : / 7 /

$$Y_n = x_{2n}$$

$$Z_n = x_{2n+1} \quad n = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad 2.20$$

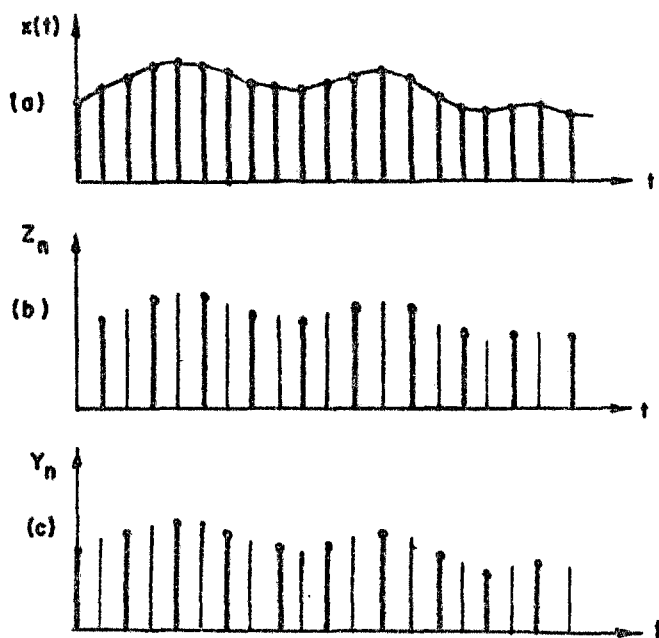


FIGURA 2.3- Sinal $x(t)$ e Amostras pares e ímpares

Substituindo (2.7) e (2.4) em (2.5) :

$$S_x\left(\frac{m}{T}\right) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n\Delta t) \cdot e^{-j2\pi mn/N} \quad 2.21$$

ou

$$S_m = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp(-2\pi jmn/N) \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} - 1 \quad 2.22$$

As funções Y_n e Z_n tem suas TDF dadas por:

$$B_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} Y_n \exp(-4\pi mn/N)$$

$$C_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} Z_n \exp(-4\pi jm \cdot n/N) \quad m = 0, 1, \dots, \frac{N}{2} \quad 2.23$$

O S_m desejado, pode ser escrito em termos das amostras pares e ímpares:

$$S_m = \sum_{n=0}^{N/2-1} \left\{ Y_n \exp(-4\pi jmn/N) + Z_n \exp\left(-\frac{2\pi jm}{N} [n+1]\right) \right\}$$

$$m = 0, 1, \dots, N-1 \quad 2.24$$

ou.

$$S_m = B_m + \exp(-2\pi jm/N) \cdot C_m \quad 0 \leq m < N/2 \quad 2.25$$

Aqui já se considera o fato de que para $m \geq N/2$, a TDF repete os valores tomados quando $m < N/2$ ou seja, substituindo m por $m + N/2$ em (2.25), teremos:

$$S\left(m + \frac{N}{2}\right) = B_r + \exp(-2\pi j \left[m + \frac{N}{2}\right] / N) \cdot C_m =$$

$$\tilde{r} \quad B_r - \exp(-2\pi jm/N) \cdot C_m$$

$$0 \leq m < \frac{N}{2} \quad 2.26$$

ou seja:

$$S_m = B_m + W^m C_m \quad 2.27$$

$$S\left(m + \frac{N}{2}\right) = B_m - W^m \cdot C_m \quad 2.28$$

$$\text{onde } W^m = \exp(-2\pi jm/N) \quad 2.29$$

notamos que:

$$W^{\bar{m}} = W^{m-N/2} \quad \text{para } m \geq \frac{N}{2} \quad 2.30$$

Aplicando novamente todo o procedimento feito até aqui para x_n , \tilde{Y}_n e Z_n , e aplicando a propriedade de que o cálculo da TDF de N amostras pode se reduzir ao cálculo de duas sequências de $N/2$ amostras, portanto, o cálculo de B_n ou C_n pode ser reduzido ao cálculo de sequências de $N/4$ amostras. Essas reduções podem ser aplicadas enquanto o número de amostras for divisível por 2. Assim, se $N = 2^\alpha$ pode-se fazer α reduções aplicando (2.20), (2.27) e (2.28) primeiro a N , depois $N/2$, $N/4$, ..., e finalmente uma função de 2 pontos. A TDF de uma função de 1 ponto é a própria amostra. Se $N = 2^\alpha$ as sequências finais serão:

Para $N = 4$:

$$B_m = \sum_{n=0}^1 Y_n \exp(-2\pi \cdot 2^{(\alpha-2)} jmn/N); Y \in \{Y_0, Y_1\} \quad 2.31$$

$$m = 0, 1$$

$$\tilde{C}_m = \sum_{n=0}^1 Z_n \exp(-2\pi \cdot 2^{(\alpha-2)} jmn/N); Z \in \{Z_0, Z_1\} \quad 2.32$$

$$m = 0, 1$$

e

$$S_m = B_m + W^m \cdot 2^{\alpha-2} \cdot C_m \quad 2.33$$

$$S_m + \frac{N}{2} = B_m - W^m 2^{\alpha-2} \cdot C_m = B_m + W^{(m+\frac{N}{2})} 2^{\alpha-2} \cdot C_m \quad 2.34$$

para $N = 2$, tem-se então:

$$B_0 = Y_0$$

$$C_0 = Z_0 \quad 2.35$$

e,

$$A_0 = B_0 + C_0 \quad 2.36$$

$$A_m + \frac{N}{Z} = A_1 = B_0 + W^{1.2^{\alpha-2}} \cdot C_0 \quad 2.37$$

Nota-se que ao se chegar nesta última sequência - (A_0, A_1) , haverá $N/2$ conjuntos deste tipo. Notemos que - para $B_0 = Y_1$ e $C_0 = Z_1$ (caso anterior) tem-se um A_0 e um A_1 . Incluindo um novo índice para denotar de onde são provenientes os A's, tem-se:

$$\left. \begin{array}{l} Y_0 \\ Z_0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} A_{00} = B_0 \\ A_{10} = C_0 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} A_0 = B_0 + C_0 \\ A_1 = B_1 + W^{2^{\alpha-2}} \cdot C_1 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} Y_1 \\ Z_1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} A_{01} = B_1 \\ A_{11} = C_1 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} A_2 = B_0 + W^{2.2^{\alpha-2}} \cdot C_0 \\ A_3 = B_1 + W^{3.2^{\alpha-2}} \cdot C_1 \end{array} \right\}$$

A_0, A_1, A_2 e A_3 assim produzidos serão os B_m 's e C_m 's de $N = 8$ e, assim por diante, até que se tenha A_0, A_1, \dots, A_N , mas, deve ser lembrado que somente as $N/2$ primeiras componentes são necessárias para a definição do espectro.

2.1.4- A Densidade Espectral de Potência (DEP)

A densidade espectral de potência -DEP- descreve a composição de frequências de um sinal aleatório através da densidade espectral de seu valor médio quadrático. O valor médio quadrático de um sinal amostra, para a faixa de fre -

quências compreendida entre f e $f + \Delta f$, pode ser obtido filtrando-se o sinal amostra convenientemente (filtro passa-banda de Δf Hz) e tomando-se a média quadrática da saída do filtro. Esse valor médio quadrático se tornará mais exato quando o tempo de observação T tender a infinito. A equação que representa o valor médio quadrático de $x(t)$ é:

$$\psi^2(f, \Delta f) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t, f, \Delta f) dt \quad 2.38$$

onde $x(t, f, \Delta f)$ é a componente de $x(t)$ compreendida entre f e $f + \Delta f$. Para um Δf pequeno pode-se definir uma função densidade espectral de potência $G_x(f)$ tal que:

$$\psi^2(f, \Delta f) \approx G_x(f) \cdot \Delta f \quad 2.39$$

ou mais precisamente:

$$G_x(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{\psi^2(f, \Delta f)}{\Delta f} = \lim_{\Delta f \rightarrow 0} \frac{1}{\Delta f} \left[\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t, f, \Delta f) dt \right] \quad 2.40$$

A quantidade $G_x(f)$ é uma função real, e positiva.

Outra maneira de definir as funções densidade espectral de potência é a seguinte. Considere-se uma amostra $x_k(t)$ do sinal aleatório estacionário $\{x(t)\}$. Para cada intervalo de tempo finito $0 \leq t < T$, define-se:

$$F_x(f, T, K) = \frac{1}{T} S_k^*(f, T) \cdot S_k(f, T) \quad 2.41$$

onde:

$$S_k(f, T) = \int_0^T x_k(t) e^{-j2\pi ft} dt \quad 2.42$$

que é a transformada de Fourier finita de $x(t)$ e $S^*(f, T)$ é

o complexo conjugado de $S(f,T)$. A função densidade espectral de potência assim definida, depende da amostra k , e do período da amostra T . Para se eliminar essas duas dependências toma-se uma nova função $F_x(f)$ dada por:

$$F_x(f) = \lim_{T \rightarrow \infty} E[F_x(f,T,k)] \quad 2.43$$

onde $E[F_x(f,T,k)]$ é o valor esperado ou média para k amostras. A relação entre $G_x(f)$ e $F_x(f)$ agora definida, é que a primeira existe somente para valores positivos de f , enquanto, a segunda é definida para qualquer f (Figura 2.4).

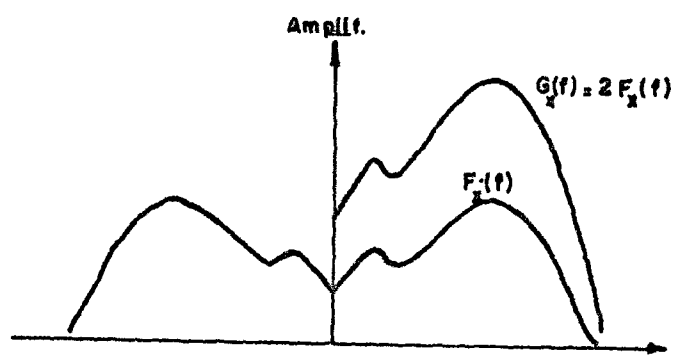


FIGURA 2.4- Funções Densidade Espectral de Potência $G_x(f)$ e $F_x(f)$.

Assim podemos escrever o seguinte:

$$G_x(f) = 2 F_x(f) \quad 2.44$$

Substituída a equação acima em (2.43), vem:

$$G_x(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} E[S^*(f,T) \cdot S(f,T)] \quad 2.45$$

ou

$$G_x(f) = 2 \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} E[|S_k(f, T)|^2] \quad 2.46$$

A equação (2.46) pode ser colocada em uma forma discreta de modo a compatibilizá-la com os desenvolvimentos feitos para a TDF e FFT.

Tomando 2.46, para um intervalo T finito, e o valor estimado para $S_k(f, T)$ (omitindo-se T) tem-se:

$$G_x(m\Delta f) = 2\Delta f |S_x(m\Delta f)|^2 \quad 2.47$$

onde $S_x(f)$ é dada por (2.20). Ou ainda pode-se ter:

$$\frac{G_x(m\Delta f)}{\Delta f} = 2 |S_x(m\Delta f)|^2 \quad 2.48$$

onde Δf entra somente como fator de escala para $G_x(m\Delta f)$.

Esta é uma forma mais conveniente para o cálculo da DEP em um computador digital.

2.1.5- A Distorção por Sobreposição de Espectros

A distorção por sobreposição de espectros ("aliasing") é causada pela existência de frequências com amplitude significativas, acima de F_{MAX} no sinal $x(t)$, na prática pode-se eliminar esse problema filtrando-se adequadamente o sinal.

Abaixo está ilustrada esta situação.

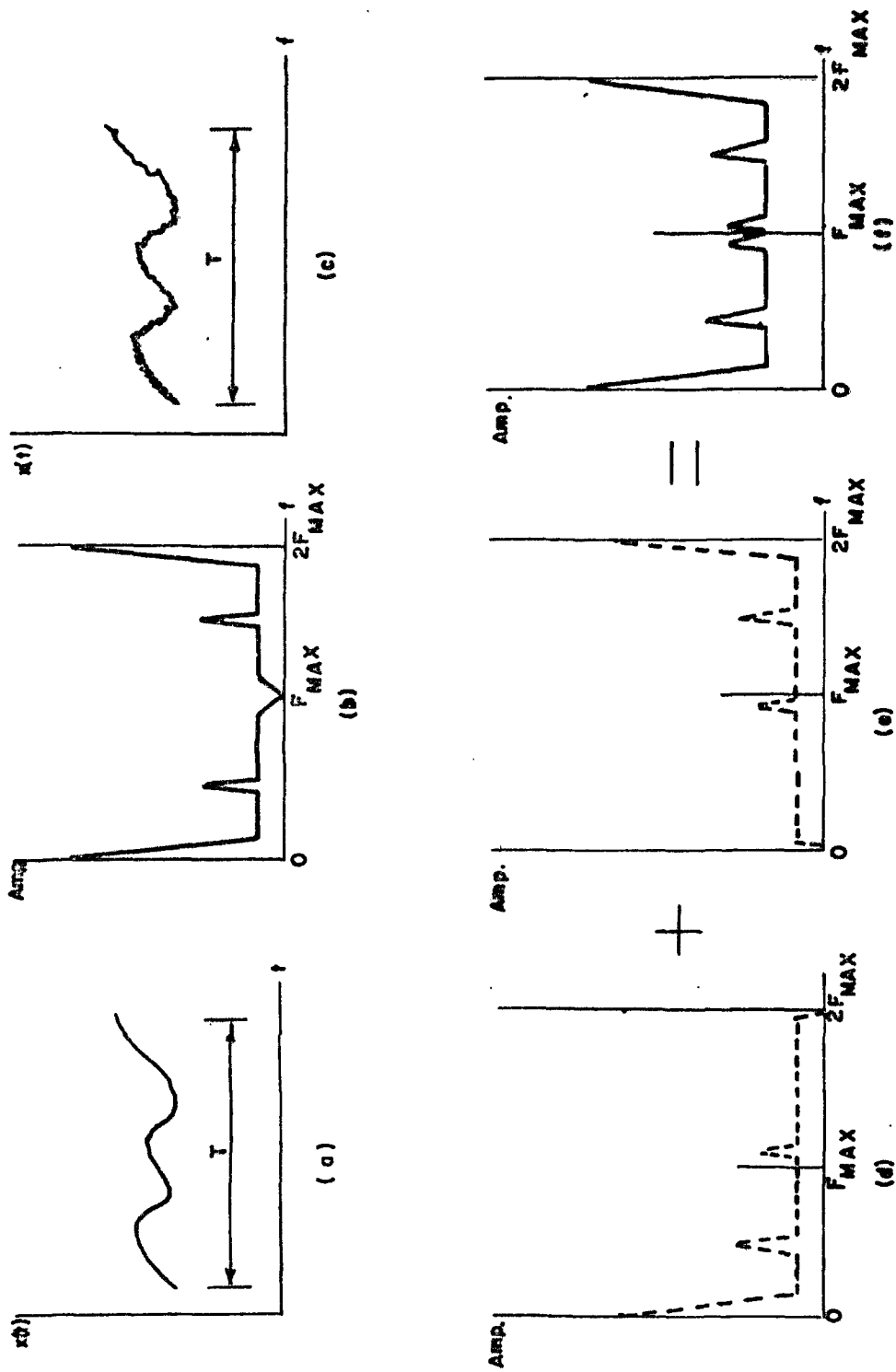


FIGURA 2.5- Sobreposição de Espectros.

Em (b) é mostrada parte do espectro que se obtém (vide Fig. 2.1 e 2.2) quando o sinal $x(t)$, (a) é filtrado utilizando-se um filtro ideal com frequência de corte igual a F_{MAX} . O sinal $x(t)$ é amostrado com uma frequência de $2F_{MAX}$, e é suposto periódico com período T . Em (c) mostra-se o sinal $x(t)$ filtrado, inadequadamente, utilizando-se um filtro ideal com frequência de corte igual a $2F_{MAX}$. Em (d) é mostrado o espectro real correspondente à faixa $(0, 2F_{MAX})$ para uma frequência de amostragem de $4F_{MAX}$. Em (e) é mostrado o espectro que se obteria para a faixa $(2F_{MAX}, 4F_{MAX})$, para uma frequência de amostragem de $4F_{MAX}$ cai entre $(0, 2F_{MAX})$ quando se usa uma frequência de amostragem de $2F_{MAX}$. Em (f) é mostrado o espectro resultante para uma frequência de amostragem de $2F_{MAX}$, e uma frequência de corte inadequada $-2F_{MAX}$, usada para o sinal $x(t)$. O efeito de sobreposição é notado quando se compara (f) e (b).

Na prática não existem filtros ideais, devendo-se escolher a frequência de corte, menor que F_{MAX} , levando em consideração a atenuação do filtro real usado. Se, na prática, for tomada a frequência de corte do filtro (ponto de -3 dB) igual a F_{MAX} , pode ocorrer o caso de existir um pico significativo imediatamente acima de F_{MAX} e haverá problema de sobreposição. Na prática o valor da frequência de corte é tomado como aproximadamente $F_{MAX}/2$.

2.1.6- Utilização das Janelas - "Hanning"

Considera-se que inicialmente haja uma senóide de frequência f_s cuja transformada de Fourier é dada abaixo (Figura 2:6):

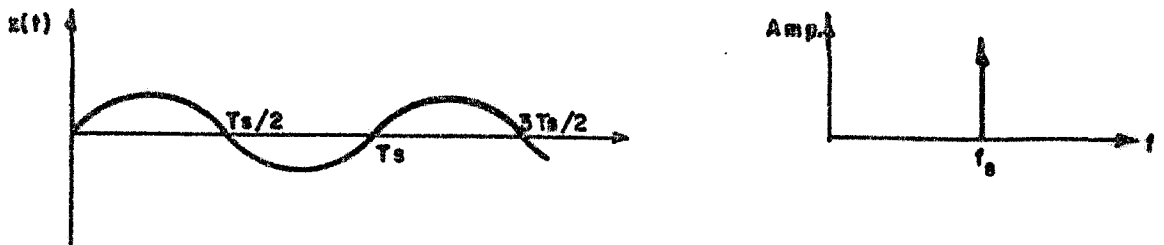


FIGURA 2.6- Seno e Transformada de Fourier

Suponha-se que $x(t)$ seja analisada de $t = 0$ até T , empregando a TDF, isso se faz, na verdade, o que é analisado é o produto da função $x(t)$ por uma janela de tempo $J(t)$ (Figura 2.7). Essa multiplicação no tempo levará as transformadas de Fourier de $x(t)$ e $J(t)$ a sofrerem uma convolução em frequência.

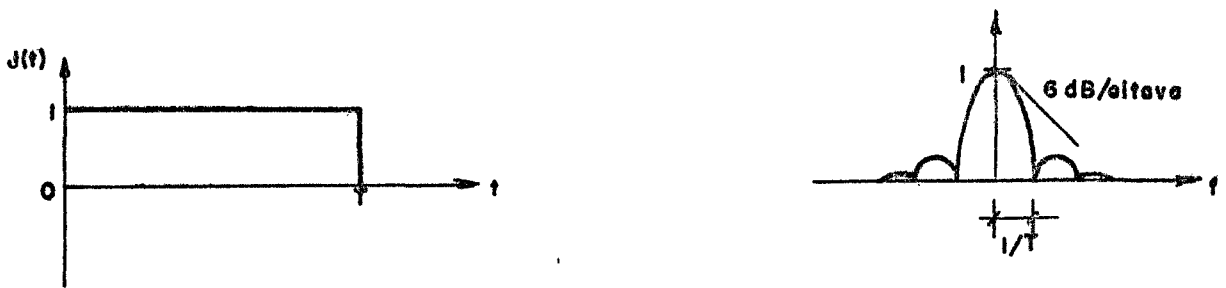


FIGURA 2.7- Janela de Tempo e Transformada de Fourier

Ou seja: $F(f) * \delta(f-f_x) = F(f-f_s)$

2.49

portanto $F(f)$ está centrada agora em f_s .

Se agora for considerada esta situação, para a transformada discreta e finita de Fourier - TDF - será vista a amplitude de $F(f-f_s)$ a intervalos Δf .

A função $F(f-f_s)$ tem agora duas situações especiais a serem consideradas:

- 1 - a senóide tem um número inteiro de período dentro da janela de tempo $J(t)$.
- 2- a senóide não tem um número inteiro de período nas condições acima.

Para o primeiro caso, tem-se:

$$T = n \cdot T_s \quad 2.50$$

onde T_s é o período da senóide e $n > 1$.

$$\text{Desde que } f_s = \frac{1}{T_s} \text{ e assim } f_s = n \cdot \Delta f \quad 2.51$$

e assim $F(f-f_s)$ terá a forma abaixo (Figura 2.8)

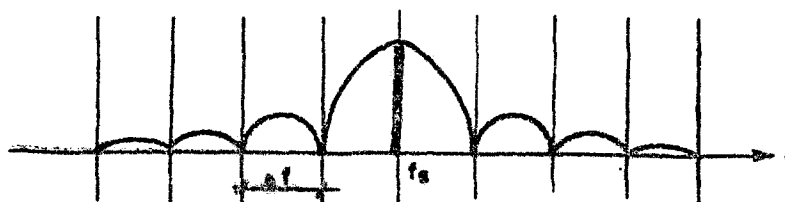


FIGURA 2.8- Efeito da Janela de Tempo no Espectro de um Seno quando T/T_s é Inteiro.

ou seja, s \tilde{o} ser \tilde{a} observada uma \tilde{u} nica componente em $f = f_s$, pois nas outras frequ \tilde{e} ncias tem-se os nulos de $F(f-f_s)$.

Considerando-se agora o caso 2, como $T \neq nT_s$ e ent \tilde{a} o $f_s \neq n\Delta f$, a situa \tilde{c} o ser \tilde{a} como a mostrada abaixo (Fig. 2.9)

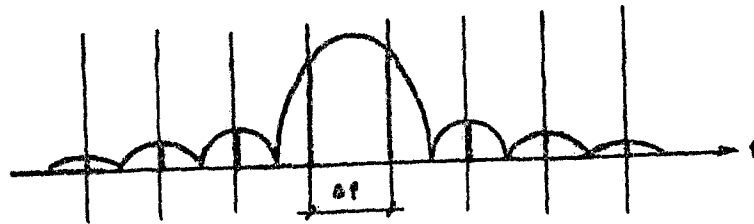


FIGURA 2.9- Efeito da Janela de tempo no Espectro de um Seno quando T/T_s n \tilde{a} o \tilde{e} Inteiro.

Ve-se ent \tilde{a} o, que a TDF de uma sen \tilde{o} ide que n \tilde{a} o tenha um n \tilde{u} mero inteiro de per \tilde{i} odo dentro da janela T , ser \tilde{a} analisada como uma s \tilde{e} rie de frequ \tilde{e} ncias, embora a incer- teza de localiza \tilde{c} o de f_s seja menor que Δf . Al \tilde{e} m disso, a amplitude analisada de f_s ser \tilde{a} atenuada.

Das v \tilde{a} rias janelas usadas para minorar esse pro- blema, a janela "Hanning" \tilde{e} a mais utilizada. Ela \tilde{e} defi- nida por:

$$H(t) = \left[1/2 - 1/2 \cos\left(\frac{2\pi ft}{T}\right) \right] \quad 2.52$$

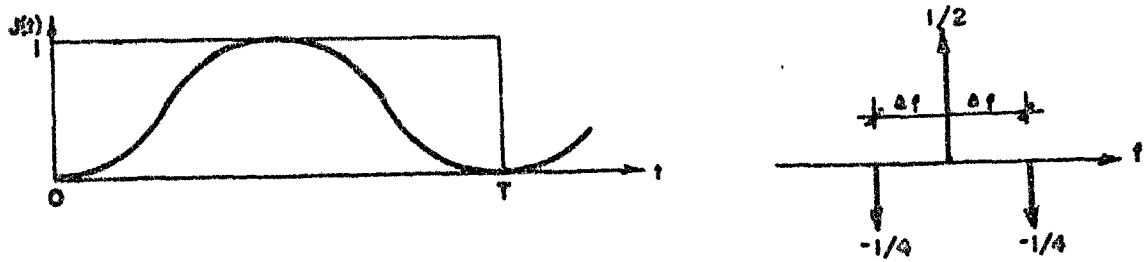


FIGURA 2.10- Janela "Hanning" e sua transformada de Fourier.

Multiplicando esta janela pela anteriormente usada, resultará na função $H(f)$ mostrada na Figura 2.11.

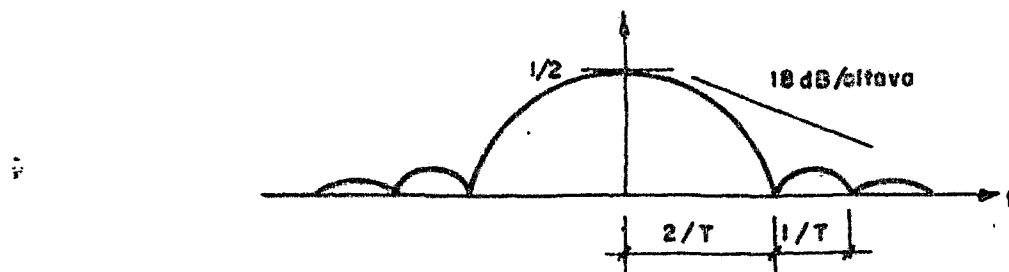


FIGURA 2.11- Convolução no Domínio - Frequência da Janela "Hanning" pela Janela de Tempo.

Pode-se ver que essa nova janela tem o lobo principal largo e achatado, enquanto os lobos laterais são bastante reduzidos. Voltando ao caso 2, tem-se agora TDF mostrada na Figura 2.12.

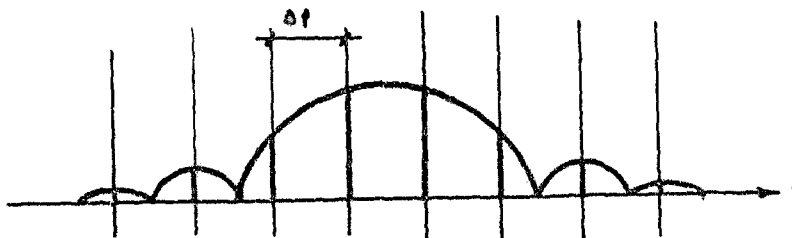


FIGURA 2.12- Efeito do Uso da Janela "Hanning" em um Seno

O efeito da janela "Hanning" é o de diminuir a incerteza quanto à amplitude de f_s , porém, o preço pago é a degradação da resolução em frequência. Outro fato que deve ser notado é que se o espectro de interesse contém mais que uma senóide, o fato dos lobos secundários serem bastante atenuados aumenta a faixa dinâmica / 44 /.

2.2- Análise dos Espectros

Neste ítem, são mostrados os aspectos importantes e necessários ao entendimento dos critérios estatísticos usados pelo programa PSDREC para reconhecer anomalias.

2.2.1- Tipos de Espectros Empregados

Toda análise feita por esse programa está baseada nas comparações entre tres espectros : PSDZ, PSDT e PSDB*. PSDZ contém o espectro instantâneo do sistema monitorado. A cada N_1

* DEP é a sigla normalmente indicada para designar uma densidade espectral de potência. Os termos PSDZ, PSDT e PSDB, apesar de empregarem a sigla em inglês equivalente a DEP, são mantidos, pois são os termos usados pelo programa.

espectros calculados , é formado um novo PSDZ, que é a mé
dia desses espectros.

PSDT contém o espectro representativo do período de funcionamento mais recente do sistema. É formado da média de N_2 espectros instantâneos ou N_2/N_1 espectros PSDZ. A cada N_4/N_1 espectros do tipo PSDZ é formado um novo PSDT. Durante a fase do aprendizado , um espectro PSDT sempre substitui seu precedente,mas , durante a fase da monit
oção, essa substituição só é feita se o novo não possui va
riações significativas em relação ao anterior. O espectro PSDT reflete a tendência do sistema.

O espectro PSDB é o espectro básico ou base, formado durante a fase de aprendizado do sistema . PSDB contém a média de N_3 espectros instantâneos ou N_3/N_2 espectros - PSDT. É importante observar que terminada a fase do apren
dizado, o espectro PSDB não mais se alterará , permanecendo
do assim imutável até o fim da fase de monitoração.

A DEP média de $N + M$ espectros é calculada no progra
ma utilizando a relação:

$$DEP_{N+M} = \frac{1}{N + M} (N \cdot DEP_N + M \cdot DEP_M) \quad 2.53$$

onde DEP_N e DEP_M são os valores médios de N e M espectros respectivamente .

2.2.2- Aprendizado e Monitoração

Como já foi dito, o programa PSDREC tem duas fases. A primeira é a do aprendizado. Durante esta fase, é forma
do um espectro básico e são calculados e testados os parâ
metros estatísticos iniciais para se determinar se real
mente correspondem aos espectros monitorados, portanto ,

temos um aprendizado supervisionado.

Na segunda fase, o espectro básico não é modificado. Nesta fase, para cada novo espectro de tendência tomado, os parâmetros estatísticos que descrevem os espectros, são recalculados. Com isso, garante-se ao programa duas características importantes:

- 1- adaptabilidade às propriedades estatísticas dos dados;
- 2- capacidade de aprender, seguir mudanças e atualizar os dados básicos.

Voltando ao aprendizado, deve-se observar que o sistema monitorado é admitido como tendo funcionamento normal durante esse período. Assim, se ocorrerem anomalias nesse período elas serão incluídas no espectro básico PSDB como característica do funcionamento normal do sistema.

2.2.3- Discriminadores Estatísticos

São utilizados pelo programa oito discriminadores - com limites próprios de aceitação. As anomalias são identificadas quando um dos limites de aceitação (nível de alarme ou perigo) foram excedidos.

Todos os discriminadores utilizados no PSDREC testam a razão entre dois espectros, em particular as seguintes:

$PSDZ/PSDT^*$, $PSDT/PSDT^*$ e $PSDT/PSDB$.

Onde $PSDT$ é o novo espectro de tendência formado, e $PSDT^*$ é o espectro de tendência anterior.

Por uma questão de conveniência estatística (vide item 2.2.4) calcula-se o algoritmo dessas razões (daí o nome razões log).

2.2.3.1- Discriminador D_I

D_I é um discriminador que quando testado mostra sensibilidade às diferenças na integral de potência dos espectros. É dado por:

$$D_I = \log_{10} \frac{\sum_i P(f)}{\sum_i P'(f_i)} \quad 2.54$$

onde $P(f_i)$ e $P'(f_i)$ representam a componente, na frequência f_i , de uma das razões espectrais definidas anteriormente.

2.2.3.2- Discriminadores D_{II} e D_{III}

Estes discriminadores examinam as razões mínima e máxima das componentes individuais. Quando testados indicam desvios singulares em determinados índices i :

$$D_{II} = \text{Min} \left[\log_{10} \frac{P(f_i)}{P'(f_i)} \right] \quad 2.55$$

$$D_{III} = \text{Max} \left[\log_{10} \frac{P(f_i)}{P'(f_i)} \right] \quad 2.56$$

2.2.3.3- Discriminador D_{IV}

O quarto discriminador é um teste da razão log média para r frequências individuais consecutivas, onde r é o número de frequências analisadas.

$$D_{IV} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left[\log_{10} \frac{P(f_i)}{P'(f_i)} \right] \quad 2.57$$

Ele é sensível a variações espectrais uniformes, no entanto, está sujeito a efeitos de cancelamento entre seus termos o que diminui sua capacidade de detectar variações nos espectros.

2.2.3.4- Discriminador D_V

O quinto discriminador é um teste da variância das razões log para r frequências individuais:

$$D_V = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r \left[\log_{10} \frac{P(f_i)}{P'(f_i)} \right]^2 \quad 2.58$$

Com esse discriminador elimina-se os efeitos de cancelamento a que está sujeito o discriminador D_{IV} .

2.2.3.5- Discriminadores D_{VI} , D_{VII} e D_{VIII}

Esses discriminadores são como testes globais quanto à mudança de forma dos espectros, enquanto que os 5 anteriores são testes paramétricos.

$$D_{VI} = \text{Maior entre } \{ [\text{Número de razões log} > \text{média}(p)] \text{ ou } [\text{número de razões log} < \text{média}(n)] \}$$

Esse discriminador é uma aplicação do teste do sinal a um conjunto de razões log de componentes espectrais.

$$D_{VII} = [n^{\circ} \text{ de seq\u00eancias} > \text{m\u00e9dia}(p)] + [n^{\circ} \text{ de seq\u00eancias} < \text{m\u00e9dia}(n)]$$

$$D_{VIII} = \text{seq\u00eancias de comprimento maior entre} \{ [\text{seq.} > \text{m\u00e9dia}(p)] \text{ ou } [\text{seq.} < \text{m\u00e9dia}(n)] \}$$

OBS.- essas seq\u00eancias s\u00e3o de raz\u00f5es log consecutivas.

2.2.4- A Distribui\u00e7\u00e3o Estat\u00edstica das Raz\u00f5es log.

Os cinco primeiros discriminadores mostrados s\u00e3o testes param\u00e9tricos baseados na hip\u00f3tese de que o sinal $x(t)$ tem uma distribui\u00e7\u00e3o de amplitude gaussiana. Como a transformada de Fourier \u00e9 um processo linear, ent\u00e3o as componentes real - $X_R(f_i)$ e imagin\u00e1ria $X_I(f_i)$ da transformada de Fourier, s\u00e3o tamb\u00e9m vari\u00e1veis gaussianas e independentes. Tomando a DEP - de uma amostra do sinal $x(t)$:

$$\tilde{P}(f_i) = S_{xx}(f_i) = S_x(f_i) \cdot S_x^*(f_i) = X_R^2(f_i) + X_I^2(f_i) \quad 2.59$$

onde $\tilde{P}(f_i)$ \u00e9 a DEP, de uma amostra, na frequ\u00eancia f_i .

Definindo $P(f_i)$, como a DEP esperada do sinal, calculada atrav\u00e9s de uma amostra de dura\u00e7\u00e3o infinita tem-se que /4 /:

$$\frac{\tilde{P}(f_i)}{P(f_i)} = \frac{\chi^2_2}{2} \quad 2.60$$

Vari\u00e1veis qui-quadrada tem a propriedade:

$$\chi^2_{a+b+c+\dots} = \chi^2_a + \chi^2_b + \chi^2_c + \dots \quad 2.61$$

Para quaisquer valores inteiros de a, b, c, \dots

Se $\tilde{P}(f_i)$ \u00e9 dada pela m\u00e9dia m\u00e9dia de n espectros com igual peso, tem-se que:

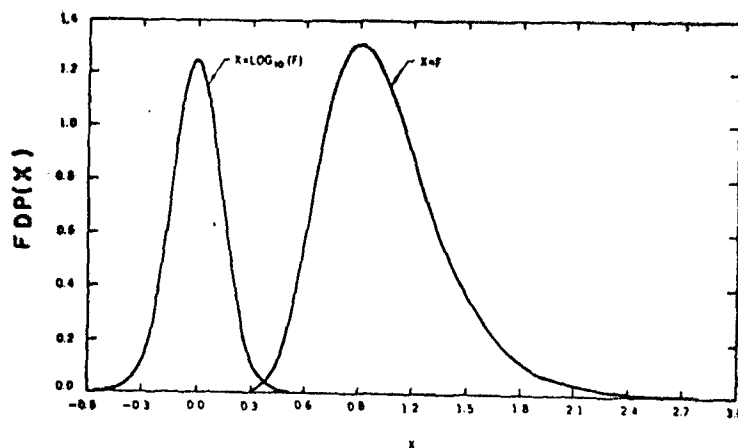
$$\frac{\bar{P}(f_i)}{P(f_i)} = \frac{\chi_{2n}^2}{2n} \quad 2.62$$

Quando se toma a razão de duas estimativas da DEP tomadas em tempos diferentes, e assumindo que a DEP esperada ($P(f_i)$) não tenha se alterado, então:

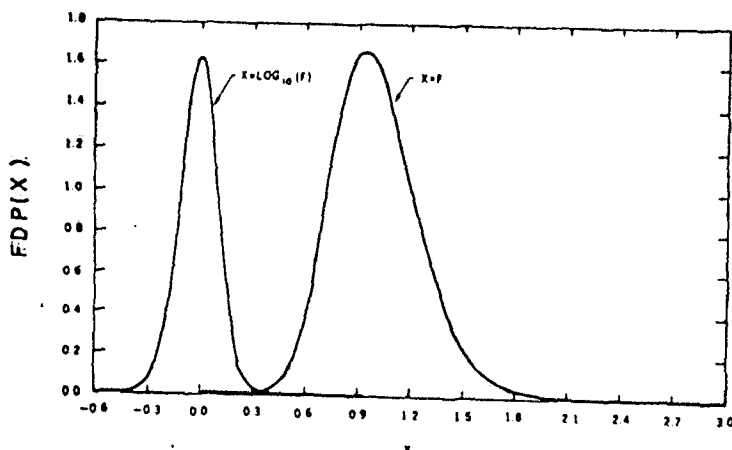
$$\frac{\hat{P}_1(f_i)/P(f_i)}{\hat{P}_2(f_i)/P(f_i)} = \frac{\hat{P}_1(f_i)}{\hat{P}_2(f_i)} = \frac{\chi_{2n_1}^2/2n_1}{\chi_{2n_2}^2/2n_2} = F_{2n_1, 2n_2} \quad 2.63$$

Portanto tem-se agora uma nova variável aleatória com $2n_1$ e $2n_2$ graus de liberdade. Esta variável F é sempre maior ou igual a zero, e não simétrica. O logarítimo de F é bem mais simétrico que F , como é mostrado na Figura 2.13.

FIG. 2.13-Função densidade de probabilidade (FDP) para as distribuições F_{v_1, v_2} e $\log_{10} F_{v_1, v_2}$



(a) $v_1 = 40; v_2 = 40$



(b) $v_1 = 40; v_2 = 200$

Usando uma aproximação funcional / 40 / tem-se:

$$L_p(v_1, v_2) = \log_{10} [F_p(v_1, v_2)] = \frac{2w}{\ln(10)} \quad 2.64$$

onde:

$$w = \frac{x_p^{(h+\lambda)^{1/2}}}{h} - \left(\frac{1}{v_1-1} - \frac{1}{v_2-1} \right) \left(\lambda + \frac{5}{6} - \frac{2}{3h} \right) \quad 2.65$$

e

$$h = 2 \left(\frac{1}{v_2-1} + \frac{1}{v_1-1} \right)^{-1} \text{ e } \lambda = \frac{x_p^2 - 3}{6} \quad 2.66$$

e x_p é o ponto fixado para determinada aceitação em uma estatística gaussiana.

A aproximação acima pode ser usada diretamente para estabelecer os limites de aceitação para as razões log mínimas e máximas das estimativas individuais (D_{II} e D_{III}). Como a integral de potência é dada pela soma de r componentes espectrais independentes, onde r é o número de frequências analisadas, o discriminador D_I pode ser calculado dessa mesma aproximação, mas os graus de liberdade serão $v_1 = 2rn_1$, e $v_2 = 2rn_2$.

As estimativas das componentes individuais da DEP são por hipótese independentes, e conseqüentemente as razões log também são variáveis independentes. Os discriminadores D_{IV} e D_V são formados da soma das razões log e das somas dos quadrados destas. Assim, se r for suficientemente grande, pode-se aplicar o Teorema de Limite Central, ou seja D_{IV} e D_V são distribuídos aproximadamente como variáveis gaussianas, tornando-se exatamente gaussianas quando r tende a infinito.

Se definirmos:

$$Y = \log_{10} \frac{P_1(f)}{P_2(f)} \quad e \quad z = Y^2 \quad 2.67$$

então:

$$D_{IV} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i \quad e \quad D_V = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Z_i \quad 2.68$$

e assim:

$$\mu(D_{IV}) = \mu_y \quad e \quad \sigma(D_{IV}) = \frac{\sigma_y}{\sqrt{r}} \quad 2.69$$

$$\mu(D_V) = \mu_z \quad e \quad \sigma(D_V) = \sigma_z / \sqrt{r} \quad 2.70$$

Essas médias teóricas e variâncias podem ser expressas em termos de funções poligama, as quais podem ser calculadas por meio de aproximações (Apêndice E).

2.2.5- Os Testes das Características globais de Cada Espectro

O teste do sinal (discriminador D_{VI}) usa a hipótese da igualdade das médias para populações simétricas e contínuas. Se as populações não são simétricas, a hipótese aplica-se às medianas.

Quando se compara dois espectros que são a média de vários blocos (o sentido de 1 bloco é o mesmo que 1 DEP) em cada frequência f_i o denominador e o numerador são distribuições qui-quadrado com diferentes graus de liberdade e isso introduz uma certa assimetria nos dados. A validade do teste pode ser restaurada se os sinais dados às razões forem baseados na mediana de uma distribuição F. Com essa aproximação, cada -

sinal tem a mesma probabilidade de ocorrência. Portanto, os critérios de aceitação para esse discriminador estão baseados em distribuições binomiais com probabilidade de sucesso igual a 1/2. Para grandes conjuntos de amostras, tendo r razões, o discriminador pode ser testado usando-se a aproximação de uma distribuição binomial por uma curva normal:

$$Z_{VI} = \frac{D_{VI} - r\mu_{VI}}{\sigma_{VI}} \quad 2.71$$

onde:

$$\mu_{VI} = \frac{r}{2} \quad \text{e} \quad \sigma_{VI} = \sqrt{\frac{r}{4}} \quad 2.72$$

Os outros discriminadores D_{VII} e D_{VIII} testam a randomicidade em um conjunto de dados amostrais. Se uma DEP é estatisticamente idêntica à outra, então, as razões log são um conjunto de amostras da mesma população e assim, devem estar distribuídas aleatoriamente em torno da mediana. Por outro lado, se ocorreu alguma mudança em uma parte do espectro, surge daí uma sequência longa (D_{VIII}) ou o número de sequências pode ser significativamente alterado (D_{VII}). Quando o conjunto de amostras tomadas tem mais que 20 elementos, pode-se construir uma variável gaussiana padronizada, Z_{VII} , a partir do número p de sequências positivas e negativas $n/40$:

$$Z_{VII} = \frac{D_{VII} - \mu_{VII}}{\sigma_{VII}} \quad 2.73$$

onde:

$$\mu_{VII} = \frac{2\bar{P}}{\bar{n} + P} \quad 2.74$$

e

$$\sigma_{VII} = \left[\frac{2P_n(2P_n - P - n)}{(P+n)^2(P+n-1)} \right] \quad 2.75$$

Se a mediana se iguala à média real, então, p e n são iguais a $r/2 / 40/$.

O critério de aceitação para a sequência mais longa é baseado em uma fórmula que prediz $M(R_K)$, o número médio de sequências de comprimento K ou maior esperados, em uma população de r amostras:

$$M(R_K) = \frac{r - K - 2}{2^K} \quad 2.76$$

Se o número de sequências de comprimento K ou maior é pequeno, então a ocorrência de tal evento é improvável. O valor K pode ser calculado de uma maneira iterativa tomando um valor inicial para $M(R_K)$ como o dado para D_{VIII} na Tabela 2.1, e tomando o K inicial como:

$$K = \frac{\ln\left(\frac{M(R_K)}{r}\right)}{\ln(0,5)} \quad 2.77$$

2.2.6- Aceitação e Correção dos Parâmetros

Durante o aprendizado, as médias e variâncias são calculadas através dos espectros. A estatística destes espectros é usada para a correção dos critérios de aceitação, considerando que a escolha da distribuição teórica está correta e somente as médias e variâncias contêm erros.

O intervalo de aceitação do discriminador D_I é alterado pela normalização do critério teórico com as médias e desvios padrões teóricos e medidos / 40 /:

$$\frac{C_I^l - \mu_I}{\sigma_I} \leq \frac{D_I - M_I}{S_I} \leq \frac{C_I^u - \mu_I}{\sigma_I} \quad 2.78$$

μ_I e σ_I - média e desvio padrão teóricos

M_I e S_I - média e desvio padrão medidos

C_I^u - critério de aceitação superior de D_I

C_I^l - critério de aceitação inferior de D_I .

Os mesmos tipos de normalização pode ser usado para D_{II} e D_{III}

$$\frac{D_{II} - M_{II}}{S_{II}} > \frac{C_{II} - \mu_{II}}{\sigma_{II}} \quad 2.79$$

e

$$\frac{D_{III} - M_{III}}{S_{II}} \leq \frac{C_{III} - \mu_{III}}{\sigma_{II}} \quad 2.80$$

ou

$$D_{II} \leq (C_{II} - \mu_{II}) \left(\frac{S_{LR}}{\sigma_{II}} \right) + \mu_{LR} \quad 2.81$$

$$e \quad D_{III} \leq (C_{III} - \mu_{III}) \left(\frac{S_{LR}}{\sigma_{III}} \right) + M_{LR} \quad 2.82$$

onde $M_{LR} = M_{II} = M_{III}$ = média das razões log individuais

[LR = LOG RATIO] e $S_{LR} = S_{II} = S_{III}$ = desvio padrão das razões log individuais.

C_{II} e C_{III} são os critérios de aceitação de D_{II} e D_{III} .

Os discriminadores D_{IV} e D_V são variáveis gaussianas, assim os parâmetros corrigidos serão:

$$\frac{D_{IV} - M_{LR}}{S_{LR} \sqrt{r}} \leq C_{IV} \quad 2.83$$

•

$$\frac{D_V - M_{SLR}}{S_{SLR} \sqrt{r}} \leq C_V \quad 2.84$$

onde M_{LR} e S_{LR} são os mesmos que foram anteriormente apresentados e M_{SLR} é a média real ou medida das razões log quadráticas [SLR = SQUARED LOG RATIO].

S_{SLR} é o desvio padrão real das razões log quadráticas.

C_{IV} e C_V são os critérios de aceitação de D_{IV} e D_V .

Os testes não paramétricos são válidos somente se a média verdadeira de uma população de razões log é conhecida. A média para uma distribuição do tipo $\log_{10} F$ é obtida das equações (2.65), (2.66) e (2.67), tomando-se $x_p = 0$. Ao

invés de se calcular a mediana das amostras para se corrigir o valor teórico, usa-se a proporção relativa maior que a média prevista, $f_p = p/r$. A correção de D_{VI} é feita trocando-se μ_{VI} por $M_{VI} \approx r f_p$.

O desvio padrão teórico é mantido sem alterações porque é uma estimativa conservadora.

Da mesma forma que o anterior a média e variância de D_{VII} são corrigidas usando-se $p = r.f_p$ e $n = r-p$.

O discriminador D_{VIII} é relativamente insensível a pequenos erros na média teórica. A experiência mostrou que os procedimentos de correlação são desnecessários.

2.2.7- Critérios de Aceitação Iniciais

Os critérios de aceitação iniciais ($C_i = I, II, \dots$) foram fixados com base na experiência obtida com o uso do programa. As médias e desvios padrões usados inicialmente são calculados a partir da teoria desenvolvida, passada a fase de aprendizado as novas médias e desvios aprendidos substituem os teóricos. Para os critérios de aceitação são fixados dois níveis de alarma: o nível de alerta e o nível de perigo. Na Tabela 2.1 abaixo são mostrados os critérios de aceitação iniciais usados, relativos a uma distribuição gaussiana padrão:

TABELA 2.1- Critérios de Aceitação Iniciais

Discrim.	Nível de alerta	Nível de perigo
D _I	± 5,0	± 10,0
D _{II}	- 5,0	- 10,0
D _{III}	5,0	10,0
D _{IV}	± 4,0	± 10,0
D _V	± 4,5	± 10,0
D _{VI}	± 4,2	± 7,0
D _{VII}	± 4,2	± 7,0
D _{VIII}	0,003*	0,0003*

* Esse é o $M(R_k)$ que é usado para se iniciar o processo iterativo para o cálculo do K correspondente ao nível. Notar que as expressões 2.77 e 2.78 dependem de \underline{r} , por isso os níveis são dados em termos de $M(R_k)$.

2.2.8- Atualização dos Critérios de Aceitação

Na fase de monitoração, após a fase de aprendizado, a atualização dos critérios de aceitação, tanto o nível de alarme como o de perigo, é feita continuamente. Esta atualização só é feita caso não surjam diferenças significativas entre um espectro de tendência a (PSDT) e seu anterior (PSDT*).

Essa correção é baseada no erro padrão que se tem

associado a determinado estimador $\hat{\phi} / 4$ /:

$$\text{erro padrão} = \sqrt{E(\hat{\phi}) - E^2(\hat{\phi})} = \sqrt{E(\hat{\phi}^2) - (\mu_{\hat{\phi}})^2} \quad 2.85$$

Se $\hat{\phi}$ tiver uma distribuição gaussiana, ou puder ser aproximado por tal distribuição (discriminadores D_I a D_{VIIII}), a média é aproximadamente zero, e a variância $V(\hat{\phi})$ fica:

$$V(\hat{\phi}) \approx E(\hat{\phi}^2) \quad 2.86$$

e então,

$$\text{erro padrão} = \sqrt{V(\hat{\phi}) - (\mu_{\hat{\phi}})^2} = \sqrt{S(\hat{\phi})^2 - (\mu_{\hat{\phi}})^2} \quad 2.87$$

onde $S(\hat{\phi})$ é o desvio padrão do estimador $\hat{\phi}$

Um determinado critério de aceitação C_A é atualizado \bar{z} para um novo critério C_N , por meio do seguinte procedimento geral:

$$C_N = C_A \cdot \frac{(\text{erro padrão})_{\text{nov}}}{(\text{erro padrão})_{\text{ant}}} \quad 2.88$$

Abaixo é dada a Tabela 2.2 com as correções feitas para cada critério de aceitação de cada discriminador.

TABELA 2.2- Atualização dos Critérios de Aceitação

Discrim.	Correção	Explicação
D_I	$C_{IN} = C_{IA} \cdot F$ $\text{onde } F = \frac{\sqrt{S_{IN}^2}}{\sqrt{S_{IA}^2}}$	<p>onde: $C_I = C_I^U$ (alarme ou perigo) ou C_I^L (alarme ou perigo) (vide 2.2.6). Os subscritos A e N significam novo e anterior respectivamente, e S significa desvio padrão. Ou pode ser mais curto C=CII (alarme) ou CIII (perigo).</p> <p>OBS:- Como D_I é dado pela soma de todas as razões log do espectro, sua média pode ser tomada como sen do zero.</p>
D_{II}, D_{III}	$C_N = C_A \cdot F$ $\text{onde: } F = \frac{\sqrt{S_{LRN}^2 - 1}^2}{\sqrt{S_{LRA}^2 - 1}^2}$	<p>onde C = C_{II} (alarme ou perigo) ou C_{III} (alarme ou perigo)</p> <p>OBS:- como foi dito em 2.2.6, $M_{LR} = M_{II} = M_{III}$ e $S_{LR} = S_{II} = S_{III}$</p>

...continua....

TABELA 2.2- Atualização dos Critérios de Aceitação (continuação.....)

Discrim.	Correção	Explicação
D _{IV}	$C_N = C_A \cdot F$ <p>onde:</p> $F = \frac{\sqrt{S_{LRM}^2 / \sqrt{T} - M_{LRN}^2}}{\sqrt{S_{LRA}^2 / \sqrt{T} - M_{LRA}^2}}$	<p>onde C = C_{IV} (alarme ou perigo) ou -C_{IV} (alarme ou perigo)</p>
D _V	$C_N = C_A \cdot F$ <p>onde:</p> $F = \frac{\sqrt{S_{SLRN}^2 - S_{LRN}^4}}{\sqrt{S_{SLRA}^2 - S_{LRA}^4}}$	<p>onde C = C_{IV} (alarme ou perigo) ou -C_V (alarme ou perigo)</p> <p>OBS:- como $\mu_V = M_{SLR} = E(y^2)$, Apêndice E, e como y tem distribuição gaussiana e média $\bar{y} = 0$, então: $E(y^2) = V(y) = S_{LR}^2$ e $\mu_V^2 = S_{LR}^4$</p>

continua.....

TABELA 2.2- Atualização dos Critérios de Aceitação (continuação)

Discrim.	Correção	Explicação
D _{VI} , D _{VII}	C _N = C _A · C	onde C = (+C _{VI} ou + C _{VII}) (alarme ou perigo) ou (-C _{VI} ou -C _{VII}) (alarme ou perigo), S e M
	onde:	são as médias e desvios padrões de D _{VI} e D _{VII}
	$F = \frac{\sqrt{S_N^2 - M_N^2}}{\sqrt{S_A^2 - M_A^2}}$	
D _{VIII}	não é corrigido	OBS.- as médias e desvios padrões de D _{VIII} são estimativas conservadoras e não são mudadas.

3. O PROGRAMA PSDREC

3.0- Apresentação

Neste capítulo são mostrados os aspectos relevantes do funcionamento do programa PSDREC no PDP 11/20 de ORNL, onde foi desenvolvido. É feita inicialmente a descrição geral do programa, em seguida são descritos os equipamentos usados, os arquivos usados para armazenamento de dados, o funcionamento, do ponto de vista do operador, e os segmentos "overlay".

3.1- Descrição Geral

O programa PSDREC foi montado em ORNL usando-se uma estrutura do tipo "overlay" / 39 / (figura 3.1) para uma memória de 28k "Words". Esse programa contém um segmento principal ("root") que fica residindo permanentemente na memória e seis segmentos "overlay" ("branches") que são trazidos à memória quando se tornam necessários (figura 3.2, tabela 3.2). A maior parte dos segmentos foi escrita em FORTRAN IV (os módulos cujo nome termina por .FOR na tabela 3.2). Existem também rotinas em Assembler (os módulos cujo nome termina por .MAC na tabela 3.2) que servem para acelerar a execução do programa e verificar se é desejada uma interrupção do processamento normal. A estrutura lógica do programa é mostrada na figura 3.5.

O sistema operacional usado em ORNL foi o RT-11. Este sistema usa uma configuração que permitiu a montagem do programa em estrutura "overlay" e sua execução em uma memória disponível de 28 kW, descontando a parte necessária ao funcionamento do sistema operacional. O sistema operacional RT-11 usado permite a referência e o uso de endereços absolutos da página de entrada e saída (E/S) na memória do computador. Isso é importante, pois permi-

te o uso de estruturas de interrupção convencionais / 13 /, sem que haja prejuízo na quantidade de memória disponível para a implantação de programas, como acontece com o sistema operacional RSX11M.

3.2- O Minicomputador e seu Equipamento Complementar

O minicomputador usado para implementar o programa PSDREC foi o modelo portátil PDP 11/20 da Digital Equipment Corporation (DEC), com 32 kW de memória de acesso rápido (bipolar), sendo sua "word" de 16 bits. Esse minicomputador possui ainda os seguintes equipamentos periféricos (figura 33): duas unidades de discos magnéticos - RK05 - cada unidade comportando um disco com capacidade para 1,25 milhões de "words", onde são armazenados o sistema operacional RT-11, o programa PSDREC e os arquivos de dados. Tem-se ainda um conversor analógico-digital (ADC), tipo AR-11, de 10 bits e 16 canais da DEC para a conversão dos sinais a serem analisados. Uma impressora de linha ("line-printer") que é usada como terminal para a saída de mensagens e sumários de dados. E, finalmente, um terminal do tipo CRT, modelo Tektronix 4010, que funciona para a entrada e saída de dados bem como saída para gráficos.

3.3- Análise e Armazenamento de Dados

O programa PSDREC atualmente monitora um sinal somente, mas possui implementações que possibilitam a monitoração de até 16 sinais, (em ORNL). O PSDREC faz a análise das DEPs em blocos de 2048 dados ou menos, sendo o mínimo de 16 dados. Ele possui a capacidade de analisar somente algumas faixas, ou mesmo uma única faixa de interesse; do espectro calculado. Essa análise é feita considerando-se um novo espectro composto destas faixas de interesse excluindo, para efeito de análise, todas as ou -

tras frequências que estejam fora destas faixas.

O PSDREC mantém dois arquivos de dados em disco: o arquivo "PARMS.DAT" e o arquivo "PSD.DAT". O arquivo "PARMS.DAT" armazena todos os parâmetros de controle necessários à execução do programa. O arquivo "PSD.DAT" armazena todos os dados de três tipos de DEP:

- (1) a DEP de tendência;
- (2) a DEP básica;
- (3) a nova DEP de tendência.

Cada um desses espectros ocupa $2N$ "Words" em disco, onde N é o número de frequências contidas em cada espectro. As variáveis importantes e as variáveis indexadas para armazenamento de dados estão localizadas na memória, em regiões comuns à todos segmentos "overlay", para garantir a integridade desses elementos em um sistema "overlay".

As grandes variáveis indexadas para armazenamento de dados estão reunidas em uma região comum chamada ARRAYS. As variáveis indexadas importantes que se encontram dentro dessa região são: PSDT ("PSD Trend"), que contém o espectro de tendência; PSDZ, que contém o DEP mais recente do sistema monitorado e APD, que contém a função densidade de probabilidade das amplitudes do sinal amostrado. Todas as variáveis de controle estão localizadas na região comum CNTR0L. Ainda em CNTR0L, estão incluídas as variáveis indexadas WORK e XTR que servem para armazenar os dados amostrados bem como área intermediária de armazenamento para o espectro PSDB e as razões log (capítulo 2). Note-se que APD apesar de se situar em ARRAYS não é armazenada no disco, esta região da memória que servia para verificar a hipótese da distribuição de amplitudes gaussiana do sinal $x(t)$. Na versão recebida esta opção está desativada.

O PSDREC provê, também, uma região para armazenamento de informações relativas a canais e ganhos a serem usados no conversor analógico-digital, visando uma futura expansão da monitoração para até 8 sinais simultâneos.

3.4- Funcionamento do Programa

A estrutura lógica do PSDREC está esquematizada na figura 3.4. Ele inicia perguntando se devem ser mantidos ou não os parâmetros de controle fixados na última execução. Caso o operador responda afirmativamente são abertos os arquivos PARM.S.DAT e PSD.DAT para serem lidos os parâmetros e espectros relativos à execução anterior, é assim recomeçar a operação a partir do ponto em que se tinha terminado a execução anterior. Esta característica é importante pois permite a continuação de uma monitoração caso seja necessária sua interrupção, desde que sejam preservados os arquivos relativos à essa monitoração.

Caso a resposta inicial seja negativa é reconhecida uma nova execução, iniciando o diálogo com o operador para a entrada de novos parâmetros. Em seguida é iniciada a fase de aprendizado, onde são adquiridos os dados para adaptar a descrição estatística inicial (capítulo 2) ao sistema a ser monitorado. Terminado o aprendizado é iniciada a monitoração, onde são apontadas as anomalias. É mostrada, no apêndice D, uma execução típica, com as fases citadas acima. Durante a execução do programa o operador pode, através de mensagens adequadas (tabela 3.1), pedir sumários de espectros em forma escrita e ou gráficos, ou executar outras funções em que o operador tenha interesse, como por exemplo, terminá-lo via CRT. Deve-se observar que o uso de uma terminação correta (tabela 3.1) permite a preservação dos arquivos de dados em disco.

3.5- Descrição dos Segmentos

A descrição das subrotinas contidas em cada segmento (tabela 3.2) é feita no apêndice A.

3.5.1 - Segmento Principal ("root")

É constituído dos módulos: PSDREC, escrito em FORTRAN e TTY escrito em Assembler. O módulo PSDREC chama os segmentos "overlay" quando se fazem necessários no processamento. O módulo TTY apesar de estar no segmento principal também é chamado por PSDREC. A função do módulo TTY é verificar se é desejada alguma interrupção no andamento normal do programa, desviando-o para uma subrotina adequada.

3.5.2 - Segmento "Overlay" nº 1

É constituído do módulo INPUT, escrito em FORTRAN. Esse módulo é usado para a entrada de dados e assim fixar as condições iniciais para o funcionamento do programa e dos testes estatísticos.

3.5.3 - Segmento "Overlay" nº 2

É integrado pelos módulos FFTR, escrito em FORTRAN, e XFORM, escrito em Assembler. O módulo FFTR contém as tabelas de dados usadas por XFORM e ainda rotinas para estabelecer o estado estacionário em máquinas rotativas. O módulo FFTR também passa os parâmetros de controle para o módulo XFORM. O módulo XFORM faz a aquisição de um espectro do tipo PSDZ, ou seja é calculada a FFT e a DEP para N_1 blocos de dados, cuja média será o espectro PSDZ. A linguagem Assembler é usada para tornar mais rápidos os cálculos.

3.5.4 - Segmento "Overlay" nº 3

É constituído unicamente do módulo RATIO, escrito em FORTRAN. Esse módulo faz o cálculo dos discriminadores

estatísticos para os espectros calculados e ainda testa esses discriminadores quanto à sua aceitação. Ele indica no terminal os valores dos discriminadores calculados e se são aceitáveis ou não, portanto é esse módulo que efetivamente faz a monitoração dos espectros.

3.5.5 - Segmento "Overlay" nº 4

É integrado unicamente pelo módulo UPDATA, escrito em FORTRAN, que atualiza os limites de aceitação para os discriminadores, as médias e desvios padrões desses testes. Essa rotina só opera após a fase de aprendizado.

3.5.6 - Segmento "Overlay" nº 5

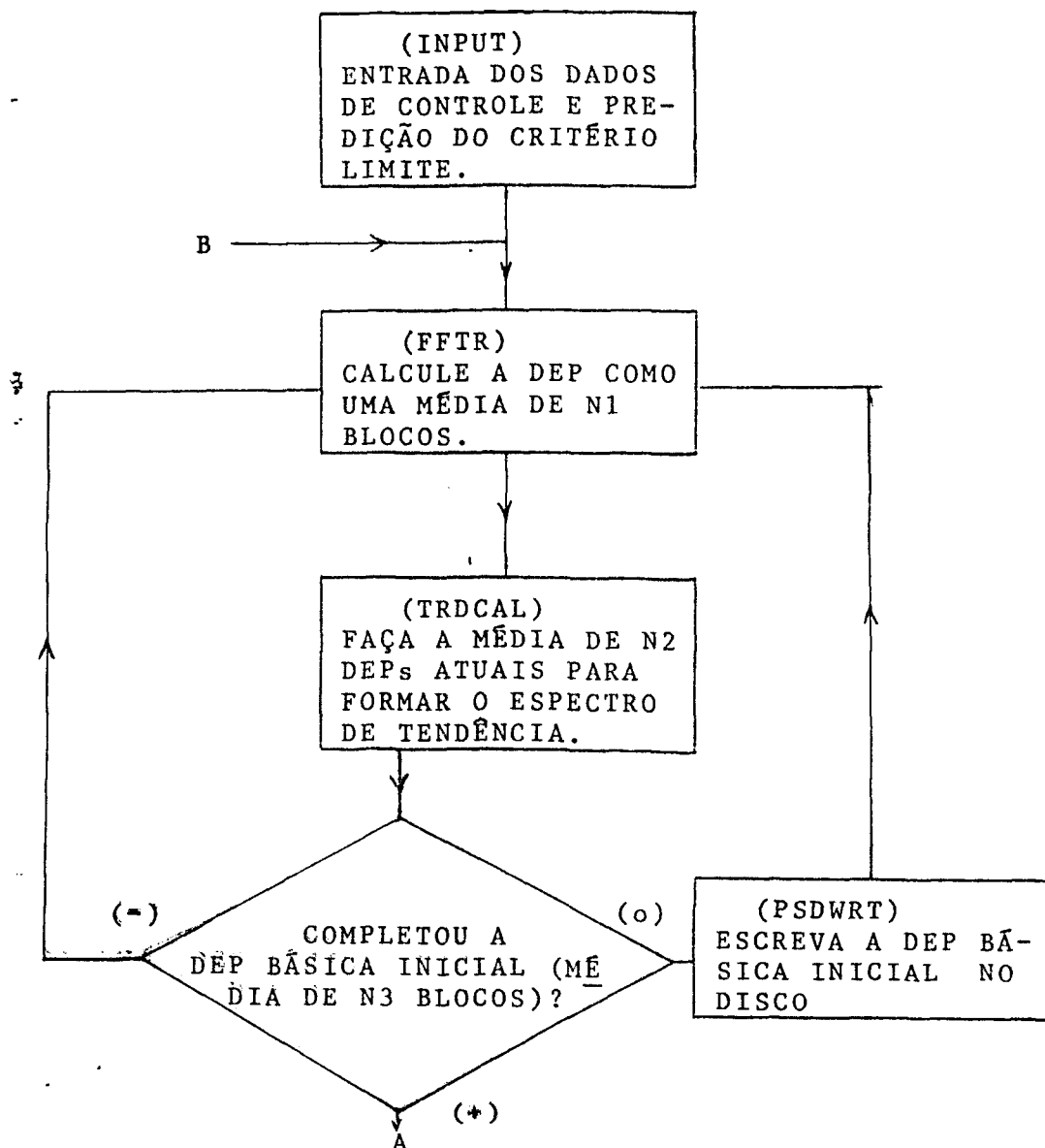
É constituído unicamente pelo módulo SUMMARY, escrito em FORTRAN, e destina-se a fazer listagens do valor das componentes dos três espectros mantidos pelo programa: PSDZ, PSDT e PSDB.

3.5.7 - Segmento "Overlay" nº 6

É constituído dos módulos RPLOT, escrito em FORTRAN, PLTLV1 em FORTRAN e PLTMAC em Assembler. Essas rotinas destinam-se a alertar sobre as condições anormais nos da dos analisados e, principalmente, fazer todos os gráficos desejados no terminal Tektronix 4010. O módulo PLTMAC contém uma coleção de rotinas fornecidas pela Tektronix para se fazer gráficos em seus terminais.

Tabela 3.1. Códigos usados para a interrupção do processamento normal do programa.

- (S) - Fecha os arquivos em disco e termina o processamento.
- (P) - Sumário padrão.
- (U) - Sumário controlado pelo operador.
- (N) - Obriga a aceitação de um novo espectro de tendência sem dar atenção às condições de monitoração (usado na fase de monitoração).



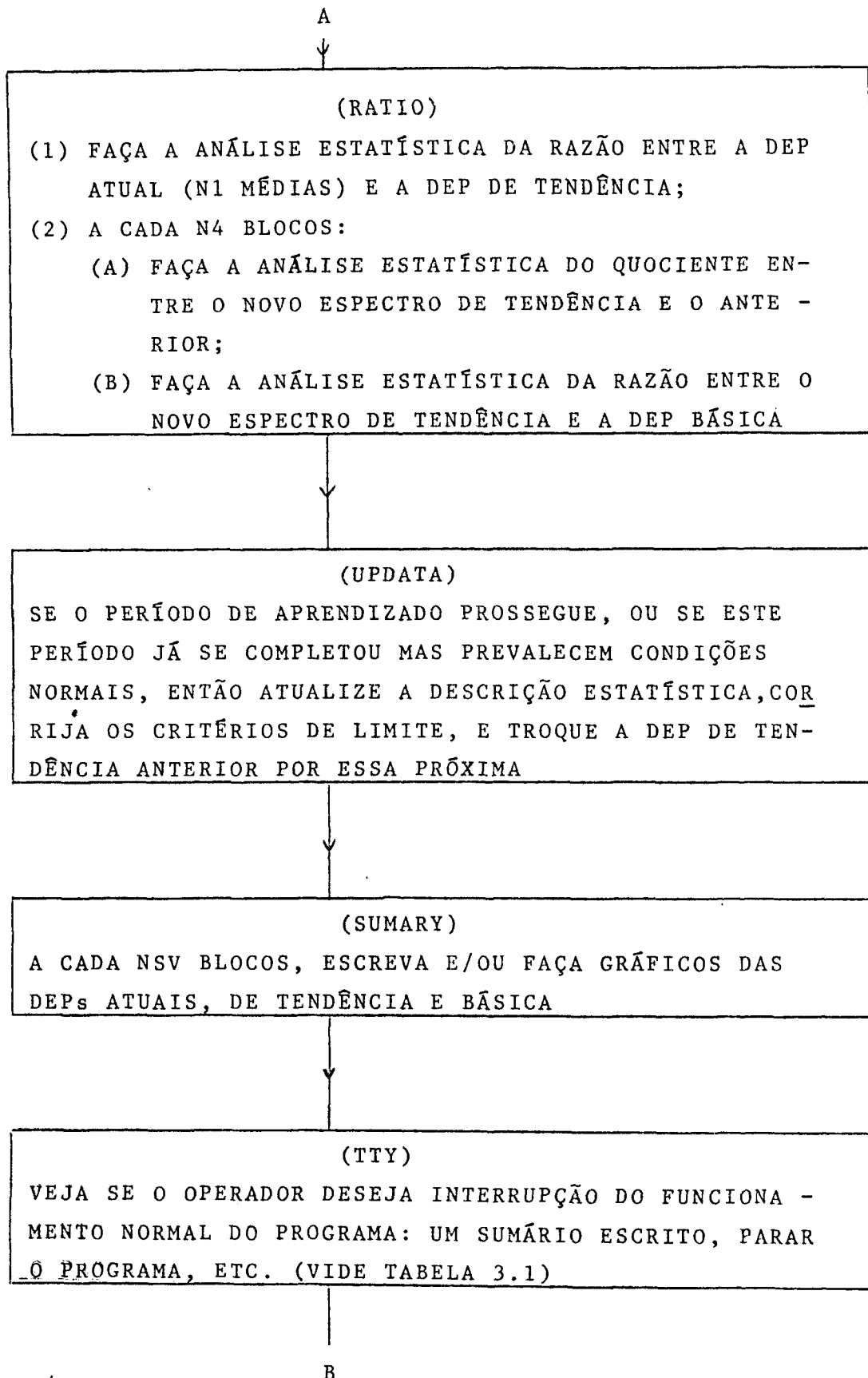


Tabela 3.2. Segmentos, módulos e rotinas constituintes do programa PSDREC (FOR e MAC indicam respectivamente programas escritos em FORTRAN e Assembler)

SEGMENTO	MÓDULOS	SUBROTINAS
Principal	PSDREC.FOR	MAIN PSDCHK SUMARY USER BLOCK DATA
	TTY.MAC	TTY CHKTIM
"overlay" nº 1	INPUT.FOR	INPUT FNUM INUM ALPHA FRQ SUMPLT ABPLOT PLOTIN THEORY FMEAN FSIG F3CM F4CM FCONF STATOU IOSTAT NEWREF SUPOW
"overlay" nº 2	FFTR.FOR	FFTR TRDCAL SSTATE
	XFORM.MAC	XFORM2 + conj. de subrotinas para fazer a FFT, "janela Hanning", e o PSD
"overlay" nº 3	RATIO.FOR	RATIO
"overlay" nº 4	UPDATA.FOR	UPDATA PSDWRT SHEORY FSIGG FM3C FM4C FCON SUNPOW FMEEM
"overlay" nº 5	SUMARY.FOR	PRTSUM UPDFIL
"overlay" nº 6	RPLOT.FOR	SUMOUT ABOUT FRPLOT MABEL APDPLT
	PLTLB2.FOR e PLTMAC.MAC	BIBLIOTECA DE ROTINAS PARA FAZER GRÁFICOS; AS SUBROTINAS EM ASSEMBLER FORAM FORNECIDAS PELA TEKTONIX PARA O TERMINAL 4010.

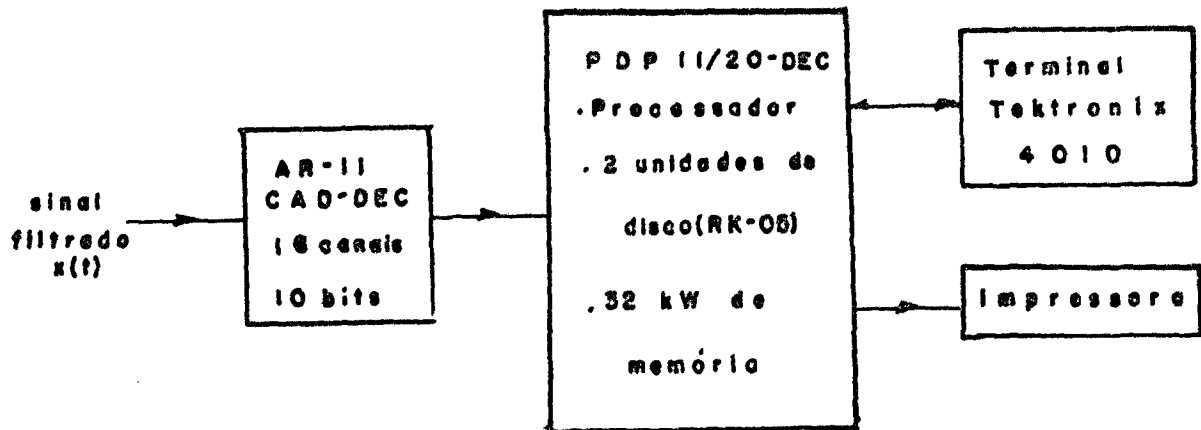


FIGURA 3.1- Estrutura "overlay" do programa PSDREC, onde são mostrados todos os módulos.

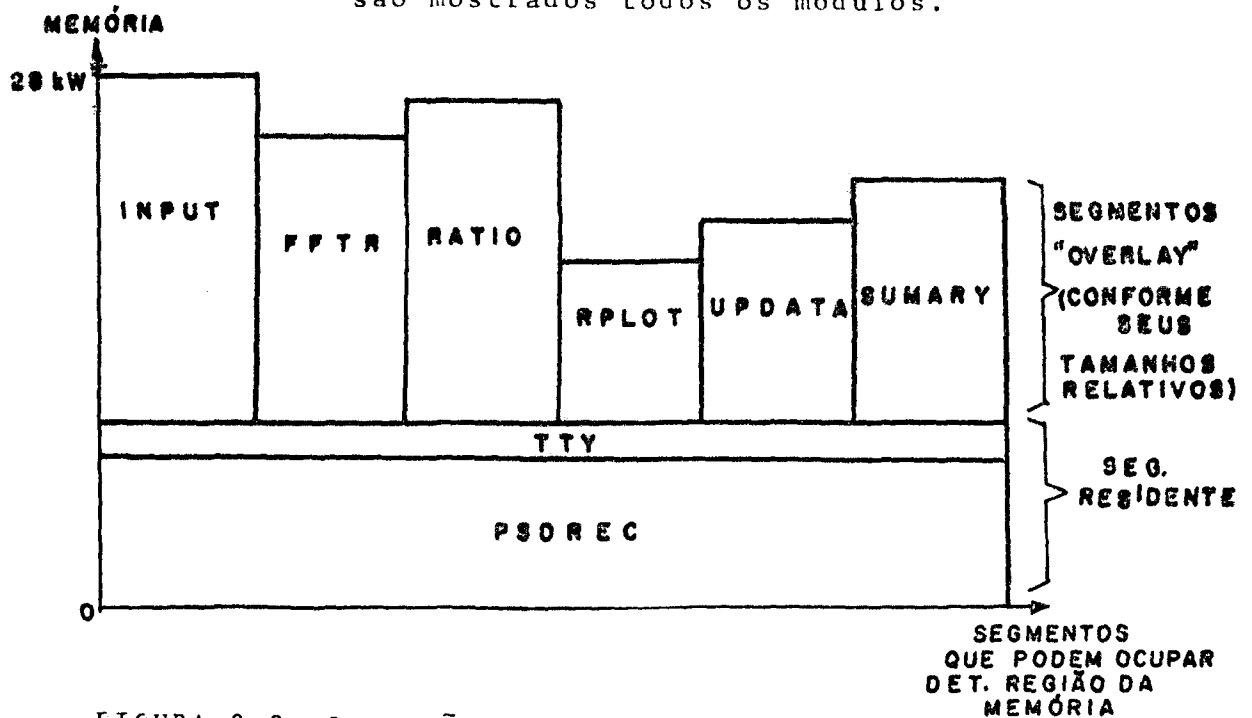


FIGURA 3.2- Ocupação da Memória pelos Segmentos.

OBS:- Para os segmentos "overlay", somente um segmento ocupa de cada vez a memória.

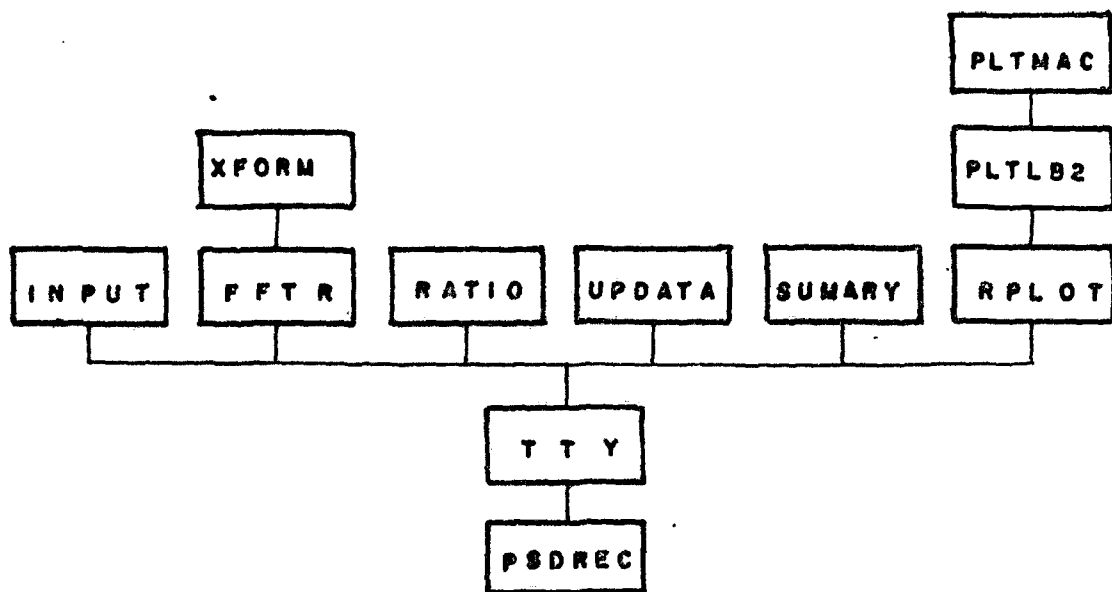


FIGURA 3.3- Configuração do PDP 11/20 (ORNL).

4. IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA PSDREC

4.0- Apresentação

Neste capítulo mostram-se todas as transformações realizadas no programa PSDREC de ORNL. Tais transformações foram necessárias por duas razões: a 1^a é que a memória disponível para programação na configuração do sistema RSX11M do IPEN é de 22 kW e a do sistema RT-11 em ORNL é de 28 kW; a 2^a é que existem diferenças entre as unidades físicas dos dois sistemas, mais especificamente a operação do CAD* de Oak Ridge é diferente do IPEN, e o PDP 11 do IPEN não inclui unidade graficadora. As modificações feitas no IPEN visam o funcionamento do programa PSDREC de maneira semelhante a seu funcionamento em ORNL.

4.1- O Sistema Operacional RSX11M

O RSX11M é um sistema operacional feito para aplicações em tempo real, admitindo também multiprogramação, e projetado para a série PDP11 da DIGITAL. Esse sistema é adequado à aquisição de dados, e ainda permite a operação concorrente de programas que fazem aquisição de dados e outros que não possuam estas funções, ou ainda o desenvolvimento de programas.

Para que esse sistema funcione em tempo real e ainda com multiprogramação é necessária a interação dos seguintes elementos /11/:

- 1) O executivo- o executivo é o "cérebro" do sistema operacional contem todo o "software" que dirige a execução dos pro

* Conversor Analógico-Digital

gramas.

- 2) Os programas- que são sequências de instruções que dirigem a manipulação dos dados pelo computador. Um programa executável no sistema RSX11M é chamado "tarefa".
- 3) A memória- é um meio de armazenamento físico onde os programas residem e são executados. No PDP11/45 tem-se 32 kW para armazenamento de programas e dados.

As tarefas são executadas em áreas predeterminadas e contíguas de memória chamadas partições.

Os sistemas podem ser divididos em mapeados e não mapeados. Os sistemas mapeados são para computadores que possuem a unidade de gerenciamento de memória KT-11. Estes sistemas permitem que seus programas possam ser executados em qualquer partição da memória independentemente do endereço inicial dessas partições. Porém, é exigido que a partição tenha tamanho suficiente para acomodar o programa.

Quando não existe a unidade KT-11, os sistemas são não mapeados, e os programas construídos para serem executados em determinada partição só podem ser executados nesta partição, porque têm seus endereços ligados ao endereço inicial da partição.

O sistema usado no IPEN é mapeado e é mostrado na figura 4.1.

As partições podem ser de dois tipos: controladas pelo sistema - tipo SYS - e controladas por programa - tipo TSK. Na primeira o executivo aloca o espaço disponível para executar tantas tarefas quantas se façam necessárias. No outro tipo somente uma tarefa pode ser liga-

da de cada vez à partição e executada.

Voltando à figura 4.1 ve-se que as partições LDR e SYSPAR são do tipo TSK e são usadas para carregar na memória e acomodar o executivo do sistema RSX11M, sendo portanto essenciais ao funcionamento do sistema. A partição GEN é a área livre da memória para acomodar os programas de usuário. Assim sendo tem-se 22 kW (ou 44kbytes) de área livre para programação. Tem-se portanto 6 kW a menos que ORNL para acomodar o programa.

Deve-se lembrar que o sistema RSX11M é um programa que por sua vez controla outros programas, permitindo a edição, compilação, montagem e execução dos programas de usuário e ainda a transferência de arquivos de um meio de armazenamento para outro, a extinção desses arquivos, sua cópia, etc. Portanto, em linhas gerais, o sistema RSX11M é um conjunto de programas.

Esse sistema é encontrado comercialmente em diversas versões, estando atualmente na versão 3.2, mas por questões de restrição no espaço em disco disponível foi usada a versão 2.0 para a implantação do PSDREC no IPEN.

4.2- O PDP 11/45 e seu Equipamento Complementar

O minicomputador PDP 11/45 da DEC usado para implantar o programa tem 32 kW de memória, tipo ferrite, e a "Word" com 16 bits. Esse computador possui ainda o seguinte equipamento periférico: um disco magnético - RK 05 - com capacidade de 1,25 MW, onde são armazenados o sistema operacional e os arquivos de dados; um CAD tipo ADF-11 de 10 bits e 192 canais da DEC; um terminal impressor da DEC, tipo LA 30s (velocidade de impressão de 300 bauds); um terminal CRT da DEC tipo VT05B (velocidade de 2400 bauds); uma unidade de fita magnética TU-10 de 9 tri

lhas e .800 BPI (DEC); uma leitora/perfuradora de fita de papel de alta velocidade (300 caracteres/seg na leitura e 50 caracteres/seg na perfuração) tipo PC11 da DEC.

4.3- O Sistema e o Módulo TTY.MAC

A rotina TTY do módulo TTY.MAC, desenvolvida em ORNL opera da seguinte maneira: a qualquer momento, durante o funcionamento do programa, o operador envia através do terminal CRT um código adequado (Tab. 3.1) ordenando uma quebra na execução normal. Durante a execução do programa, quando chega a vez de executar TTY, essa subrotina lê o código enviado pelo operador do programa, desviando a execução para uma subrotina adequada. Existem duas dificuldades sérias para o funcionamento dessa subrotina no IPEN. Essas são: a) qualquer mensagem escrita no terminal CRT do IPEN, que não seja um dado pedido por uma tarefa, é interpretado* pelo sistema como uma ordem para si mesmo, assim a mensagem não é interpretada por TTY; b) em ORNL são usadas diretamente pelo programa posições de memória absolutas ("buffers") designados para as unidades periféricas na página de entrada e saída (E/S). No RSX11M essas posições são protegidas contra leitura, e o único tipo de tarefa que poderia ter acesso a uma dessas regiões seria uma tarefa privilegiada. Tais tarefas no entanto tem um tamanho máximo permitido de 12 kW ou seja fica-se com menos ainda que os 22 kW disponíveis na partição GEN. A solução encontrada é exposta mais adiante (Ítem 4.7).

Outra rotina do módulo TTY.MAC é a CHKTIM, que simplesmente faz o incremento da data, caso o contador de horas ultrapasse 24. Tal rotina já é automática no siste-

* Essa interpretação se faz devido à existência do MCR (do inglês Monitor Console Routine) permanentemente "lendo" o terminal.

ma RSX11M, não sendo, portanto, necessária sua implantação no IPEN.

4.4- Instruções Assembler do Sistema RT-11

Todos os módulos do tipo MAC contem subrotinas em assembler MACRO-11, mas algumas dessas subrotinas contem instruções assembler do sistema RT-11 que não podem ser compiladas no sistema operacional usado no IPEN. Tais instruções são:

- 1) .REGDEF - define as variáveis R1, R2, R3 etc como sendo uma referência aos registradores de uso geral %1, %2, %3. (Obs.: o símbolo "%" significa registrador). No sistema RSX11M essa definição é assumida automaticamente, sem a necessidade dessa instrução.
- 2) .INTEN 7 - define uma interrupção do processador central para que se faça alguma operação E/S com prioridade 7, a maior prioridade possível. No programa que está implantado no IPEN, não são usadas estruturas de interrupção /13/, mas partições mapeadas em cima das posições absolutas, da página de entrada e saída, referentes principalmente ao CAD. Essa instrução também não foi necessária.
- 3) ..V2.. - Define a versão do sistema RT-11 usada neste programa, portanto também é desnecessária.

4.5- A Rotina de Controle do CAD

A rotina que faz a aquisição de dados (amostragem do sinal a ser monitorado) para posterior cálculo da FFT é a XFORM2.MAC. Essa rotina pertence ao módulo FFTR e foi a 1^a rotina adaptada para uso no IPEN devido à sua altíssima importância. Além das modificações expostas no item anterior, foram feitas as seguintes:

- 1) toda instrução referente à operação do CAD de ORNL foi retirada.
- 2) Foram incluídas as rotinas existentes para o uso do ADF-11 (CAD do IPEN), porém suficientemente modificadas de modo a que:
 - a) Se for necessário, a rotina fará a amostragem de mais que um canal do ADF, ou seja pode-se amostrar os canais de C_1 a C_N quase simultaneamente (não será exatamente simultâneo porque existe uma diferença de 300 ns entre dois canais contíguos amostrados - C_i e C_{i+1}).
 - b) Se possa usar dois tipos de "clock"*: um totalmente externo para qualquer frequência de amostragem inferior a 15 kHz e outro interno do ADF com uma frequência fixa de 125 kHz porém deve ser disparado por um pulso externo. As magnitudes dos pulsos usados no "clock" externo aparecem na figura 4.2.
- 3) A rotina de controle é chamada como qualquer subrotina do programa. Os argumentos que devem ser fixados na chamada dessa subrotina são:
 - a) função - 0-"clock" externo e 1-"clock" interno. Esse argumento é fixado automaticamente quando é respondida a pergunta sobre a frequên

* Esse é o termo comumente empregado para designar a base de tempo usada para se fazer a amostragem.

- cia de amostragem (Apêndice B).
- b) velocidade de acesso à memória: 0-normal; 1-rápido, valor usado - 0.
 - c) matriz definida pelo usuário necessária ao armazenamento do estado do ADF: reservada uma matriz - IEASTS - de 5 posições.
 - d) ganho: 0-ganho de 1; 1-ganho de 2; 2-ganho de 4 e 3-ganho de 8, foi fixado o valor 0, pois permite maior amplitude ao sinal amostrado (de 0 a 10V).
 - e) sincronismo: 0-interno, 1-externo, foi fixado o valor 1, pois assim servirá ao funcionamento de qualquer função.
 - f) Área onde serão colocados os dados: usado o endereço contido na variável PT1.
 - g) Canal inicial: escolhido o nº 21.
 - h) Canal final: fixado o de nº 21, são amostrados sequencialmente todos os canais compreendidos entre o inicial e o final. Como na atual versão do programa somente 1 canal é monitorado, o canal final é igual ao inicial.
 - i) número de amostragens a serem feitas no sinal: é usado o valor contido na variável NPTS, que por sua vez é fixada conforme os parâmetros de entrada (Apêndice B).

Deve-se notar que na operação do programa em ORNL a frequência de amostragem máxima da rotina de controle, usando um "clock" externo, é de 12kHz.

A rotina de controle do CAD no IPEN usa uma partição do tipo "DEV", chamada ADFREG, e mapeada em cima das posições dos registradores do ADF-11 na página de entrada/saída da memória. Com isso o ADF terá uma rotina de

controle que funciona de modo semelhante a um UDC 11, a rotina de controle universal da DIGITAL/12 /. As vantagens disso são:

- 1) acesso direto à página de entrada/saída da memória, ou seja, aos registradores do ADF.
- 2) acesso à página de entrada/saída da memória sem restrições quanto ao tipo de programa (privilegiado ou não).
- 3) Não são necessárias estruturas de interrupção. É suficiente o acesso aos registradores de controle e estado para a execução das funções requeridas. O acesso à subrotina de controle é feito normalmente como à qualquer outra subrotina.

4.6- Modificações para a Instalação do Programa na Memória

A tentativa inicial de se construir uma tarefa através dos módulos originais enviados de ORNL, mostrou que o tamanho do segmento principal seria de 13,5kW e que o tamanho do segmento overlay nº 1 seria de 13,2kW. Assim a memória total inicial necessária à execução do programa seria de 26,7kW. Para que se conseguisse instalar o programa PSDREC na memória disponível, foram necessárias as seguintes modificações:

- 1) Diminuição da capacidade de análise no programa original, podia-se analisar blocos de dados amostrados de até 2048 pontos resultando em um espectro, de 1024 frequências. Agora, a capacidade de análise é de blocos de 1024 pontos, ou seja, o maior espectro vai ter 512 frequências. Das aplicações práticas anteriores, feitas com o analisador de Fourier HP5451B /25/, sabe-se que um bloco com este tamanho (1024) já satisfaz às aplicações de interesse, apesar de haver perda de reso

lução em relação a um bloco de 2048. Essa modificação foi realizada em duas variáveis indexadas da região comum ARRAYS - PSDZ e PSDT. Essa modificação trouxe uma economia de memória da ordem de 2 Kw no tamanho total ocupado pelo segmento principal (módulo PSDREC). Outra economia que advem da diminuição do maior bloco que pode ser analisado é na quantidade de memória intermediária necessária à transferência de variáveis indexadas entre o disco e a memória. Como as variáveis a serem transferidas são menores, essa área intermediária também será diminuída. A economia com esse fator também será da ordem de 2 Kw.

- 2) Divisão do segmento INPUT em outros segmentos overlay com essa divisão ganha-se mais 2,3 Kw de memória. O segmento INPUT foi dividido em outros três segmentos: INPUT2, FRQ e OTHERS. Na figura 4.3b é mostrada a nova alocação de memória do módulo INPUT e na figura 4.4 a sua montagem em estrutura overlay. Na tabela 4.1 pode-se ver as rotinas componentes de cada novo segmento. Essas rotinas foram alocadas para os segmentos, baseando-se em duas regras fundamentais:
- a) uma rotina em um segmento principal pode chamar rotinas em qualquer segmento secundário;
 - b) uma rotina em um segmento secundário só pode chamar rotinas do segmento principal. Ela não pode chamar rotinas em outros segmentos secundários.

Na realidade tanto a 2^a modificação como a 1^a visaram a acomodação do módulo FRQ na memória. Pode-se notar pela tabela 4.1 que este módulo é composto unicamente da rotina FRQ. Esta é uma rotina bastante extensa sendo responsável pelo tamanho inicial do módulo INPUT. É importante notar que a divisão do módulo INPUT em segmen

tos overlay não afetará a velocidade de execução do programa, pois esse módulo destina-se à aquisição dos parâmetros de controle (Apêndice B) só tendo importância no início da execução.

4.7- O Módulo TTY.MAC do IPEN

As dificuldades para instalar a rotina TTY.MAC no IPEN foram expostas no item 4.3. O método adotado para a interrupção do funcionamento normal do programa, quando solicitada pelo operador, pode ser resumido no seguinte, foi criada JRDAT, uma nova partição do tipo COM (comum), na memória, que permite a transmissão de argumentos entre programas (Apêndice C). Foi criado também um programa JR.FTN, que lê no terminal os valores de uma variável indexada (JRM) residente na região JRDAT. Os valores para esta variável indexada aparecem na tabela 4.2 cada valor está relacionado com determinada função. Durante a execução do PSDREC, quando é lido o valor de JRM o programa desvia para uma subrotina adequada. Esse teste continua sendo feito em TTY.MAC. Esse módulo agora é menor devido à: 1) não há mais a rotina CHKTIM (tabela 3.1); 2) a subrotina TTY foi otimizada.

Voltando à partição JRDAT, para que exista lá a variável JRM, a ser lida no terminal por JR, e então o valor desta variável seja interpretada por TTY, é necessário que se instale aí um programa do tipo "BLOCK DATA" /15/. Assim foi instalado, na partição JRDAT, o programa JRDAT.TSK.

O funcionamento de JR é explicado pela combinação de dois fatores. O primeiro é o chamado "checkpointing" e o segundo é a prioridade de execução de programas. Para uma melhor explicação será dado um exemplo. Suponha-se que haja um programa A e um programa B, que devem ser e-

executados na mesma partição GEN. O programa B tendo prioridade de execução mais alta do que A. Supondo-se que inicialmente se execute A, e em dado instante é iniciada a execução do programa B. Como B tem prioridade maior do que A, B é executado, forçando A a sair da memória. Se A tem área de "checkpointing" em disco, A sai para esta área reservada e aí permanece até que B tenha terminado seu processamento. Após isso, então, A entra novamente na memória, e continua a execução do ponto em que foi suspensa quando B entrou. Esse exemplo explica a necessidade de JR ter prioridade maior que PSDREC e PSDREC possuir área de "checkpointing" em disco (Apêndice C).

O programa usado no IPEN possui outras capacidades que o seu original não possuía, e que foram implementadas através de modificações em PSDREC.FTN. No IPEN pode-se enviar sequências de desvios, ou interrupções do funcionamento normal, a TTY, permite-se até 6 desvios para determinadas subrotinas, ou seja, é permitida uma combinação de 6 símbolos quaisquer da tabela 4.2. Comparando a tabela 4.2 e a tabela 3.1 ve-se que há duas funções a mais que em ORNL. Tais funções encontram-se no módulo PSDASG.FTN: A opção 6 foi incluída porque apesar de não ser usada na presente versão, esta pode ser mais tarde ativada para a verificação da hipótese de "distribuição gaussiana de amplitude do sinal amostrado $x(t)$ ", bastando para tanto, introduzir-se uma subrotina adequada em XFORM.MAC.

4.8- Alocação de Espaço em Disco

Um problema menor encontrado para a construção do programa tarefa PSDREC foi a falta de espaço contíguo em disco para a sua colocação:

Esse problema foi solucionado retirando-se do disco

os compiladores FORTRAN (FOR.TSK) e Assembler (BIGMAC.TSK), e mais o programa utilitário para lidar com bibliotecas (LBR.TSK), rearranjou-se então os arquivos restantes de modo a preencherem esses espaços vazios.

Esses módulos foram colocados em fita magnética de modo que quando se fizerem necessários, são trazidos ao disco. Essa modificação no sistema aumentou em 360 blocos (de 1/2 kbyte) o número de blocos livres, elevando assim o total a aproximadamente 1500. A importância dos novos blocos incluídos é que antes eles eram pertencentes a programas executáveis, portanto eram contíguos.

O programa construído ocupou 386 blocos contíguos em disco, enquanto que o sistema operacional ocupa 117.

4.9- Rotinas para Gráficos Instaladas no IPEN

Como já foi dito não se dispõe de unidades graficadoras acopladas ao PDP 11/45. Para contornar tal deficiência foi usado um método indireto, ou seja, serão gerados, durante a execução do programa, arquivos em disco com formatos adequados ao graficador HP7200A por sua vez acoplado a uma teleimpressora existentes em outro laboratório do IPEN. Com os programas utilitários do sistema RSX11M transfere-se esses arquivos do disco para fita de papel. Usando-se a teleimpressora para ler esta fita (em modo local) faz-se automaticamente os gráficos requeridos. Pode-se também, gravar esses arquivos em fita magnética, para posteriormente, se houver interesse, fazer os gráficos necessários (figura 4.5).

Essas rotinas, para a geração de arquivos em disco, foram incluídas em segmentos onde originalmente eram feitos gráficos em ORNL. Assim a subrotina PRTSUM, do módulo SUMMARY foi aumentada introduzindo-se uma rotina que

faz gráficos do intervalo de frequências listado, o que não era feito no programa original. No segmento nº 6 foi introduzido o módulo para gráficos IEAPLT.FTN, modificando assim a descrição overlay deste segmento. A descrição "overlay" aparece na figura 4.6 e as subrotinas de cada módulo na tabela 4.1.

A subrotina IEAPLT.FTN é constituída de duas partes, na primeira são perguntados os intervalos de frequência para o qual se quer as listagens de: DEP testada (PSDZ ou PSDT), DEP de referência (PSDT* ou PSDB) e a razão entre elas. Na segunda parte, são gerados ou não, os arquivos adequados para gráficos, conforme a vontade do operador.

Deve-se notar que devido à IEAPLT tem-se agora um novo tipo de arquivo de dados em disco, FOR004.DAT que contém os pontos para os gráficos.

Deve-se notar que tanto os módulos PLTLB2 e PLTMAC como IEAPLT são para gráficos. Os módulos PLTLB2 e PLTMAC não foram simplesmente retirados porque entre esses módulos e o módulo RPLOT existem diversas transmissões de argumentos que não foram examinadas devido à ausência de informação quanto à algumas variáveis usadas. A única subrotina de interesse que foi examinada e adequadamente modificada, para que pudesse chamar IEAPLT foi ABOUT, pois essa rotina envia mensagens sobre a existência de condições anormais providenciando em seguida os gráficos referentes à essas condições. Deve-se evitar que o programa vá às outras subrotinas de RPLOT, pois a tentativa de fazer gráficos com essas rotinas certamente resultará em erro, respondendo-se com "N" à todas as questões referentes à gráficos no Apêndice B.

4.10- Modificações em RATIO.FTN

As modificações feitas em RATIO.FTN visaram à extração de mais informações, que não eram inicialmente disponíveis para a pessoa interessada na análise. Essas informações referem-se à situação que surge quando ocorrem valores inaceitáveis ao se examinar as razões log individuais máximas e mínimas. Somente duas frequências, uma de máximo e outra de mínimo, são reveladas ao operador quando D_{II} e D_{III} são examinados. Pode perfeitamente haver outras frequências também anormais, mas com anomalias menos significativas que as analisadas pelos discriminadores D_{II} e D_{III} . O que se introduziu na subrotina RATIO foi uma complementação, que só entra em operação na fase de monitoração, e que examina cada frequência individualmente. As frequências que estão fora da faixa de aceitação dos discriminadores D_{II} e D_{III} são listadas e codificadas conforme o nível de alarme excedido.

Esta listagem, aliada aos gráficos que se pode fazer pelo modo indireto já mencionado, constituem importantes elementos de análise e indicação de anomalias espectrais nesse programa. A versão original de ORNL não apresenta esta facilidade, tendo sido implantada somente no IPEN.

4.11- Alocação Final de Memória e Funcionamento do Programa

A alocação final de memória e a estrutura "overlay" são mostradas nas figuras 4.7 e 4.8. O principal fato que deve ser notado é que restam 1,8 kW de memória não utilizada (figura 4.7). Essa "sobra" é explicada pelas diversas reduções havidas:

- 1) redução da capacidade de análise - economia de

- 4 kW no segmento principal;
- 2) divisão do módulo INPUT - economia de 2,3 kW;
 - 3) modificações no módulo PSDREC para aumento da capacidade de desvio e otimização de TTY.MAC - os dois efeitos combinados resultaram em uma redução de 0,2 kW, no segmento principal.

Assim a redução total em relação à alocação inicial (26,7 kW) foi de 6,5 kW, portanto o programa ocupa agora 20,2 kW (figura 4.7).

O programa funciona agora de maneira semelhante ao que existe em ORNL. Uma diferença importante é o fato de que em ORNL os gráficos são produzidos automaticamente, em caso de ocorrer anomalia, enquanto que no IPEN é necessário que a cada anomalia o operador indique que gráficos quer, que escalas, etc. Isso certamente faz com que a aplicação do programa implantado no IPEN não seja feita à monitorações de sistemas dinâmicos, ao contrário de ORNL. Caso se queira uma aplicação deste tipo basta que sejam incluídas na área comum JRDAT variáveis necessárias a se estabelecer automaticamente o tipo de gráfico desejado e as escalas. Tais dados devem ser fixados no módulo INPUT por meio de questões apropriadas. Além disso é necessário que os arquivos que contem os pontos, tenham indicações adequadas que permitam identificar que tipo de comparação de espectros produziu o gráfico, que espectro será reproduzido, e as escalas usadas. Com essas modificações esse programa também poderá ser usado em monitoramentos de sistemas dinâmicos.

Tabela 4.1- Subrotinas contidas em cada módulo de cada segmento do programa PSDREC.

SEGMENTO	MÓDULO	SUBROTINAS
Principal	PSDREC.FTN	MAIN, PSDCHK, SUMARY
	TTY.MAC	TTY
Overlay nº 1	INPUT2.FTN	INPUT, ALPHA, FMEAN, FSIG, F3CM, F4CM, FCONF, SUPOW
	FRQ.FTN	FRQ
	OTHERS.FTN	FNUM, INUM, SUMPLT, ABPLOT, PLOTIN, THEORY, STATOU, IOSTAT, NEWREF
Overlay nº 2	FFTR.FTN	FFTR, TRDCAL, SSTATE
	XFORM.MAC	XFORM2 + conjunto de subrotinas para fazer a FFT, Janela "Hanning" PSD + subrotinas de controle do ADF-11
Overlay nº 3	RATIO.FTN	RATIO
Overlay nº 4	UPDATA.FTN	UPDATA, PSDWRT, SHEORY, FSIGG, FM3C, FM4C, FCON, SUNPOW, FMEEN
Overlay nº 5	SUMARY.FTN	PRTSUM, UPDFIL
Overlay nº 6	RPLOT.FTN	SUMOUT, ABOUT, FRPLOT, MABEL, APDPLT
	PLTLB1.FTN E PLTMAC.MAC	Biblioteca de rotinas para gráficos. As subrotinas em ASSEMBLER foram fornecidas pela Tektronix para o terminal 4010
	IEAPLT.FTN	IEAPLT
Overlay nº 7	PSDASG.FTN	PSDASG

Tabela 4.2- Códigos para interrupção do funcionamento normal do programa no IPEN.

- (1) → PARAR A EXECUÇÃO DO PROGRAMA, FECHANDO ANTES OS ARQUIVOS EM DISCO
- (2) → SUMÁRIO PADRÃO
- (3) → SUMÁRIO CONTROLADO PELO OPERADOR
- (4) → OBRIGA A ACEITAÇÃO DO NOVO ESPECTRO DE TENDÊNCIA SEM DAR ATENÇÃO ÀS CONDIÇÕES DE MONITORAÇÃO (USADO NA FASE DE MONITORAÇÃO)
- (5) → (SÓ NO IPEN) PERMITE QUE OS VALORES CALCULADOS DOS DISCRIMINADORES E/OU OS VALORES DE ACEITAÇÃO ESTATÍSTICOS USADOS NA MONITORAÇÃO E/OU OS SUMÁRIOS POSSAM SAIR EM QUALQUER TERMINAL QUE SE QUEIRA A QUALQUER INSTANTE, DURANTE A EXECUÇÃO.
- (6) → (SÓ NO IPEN) PERMITE A LISTAGEM E/OU GRÁFICO DA DISTRIBUIÇÃO DE AMPLITUDES DO SINAL AMOSTRADO.

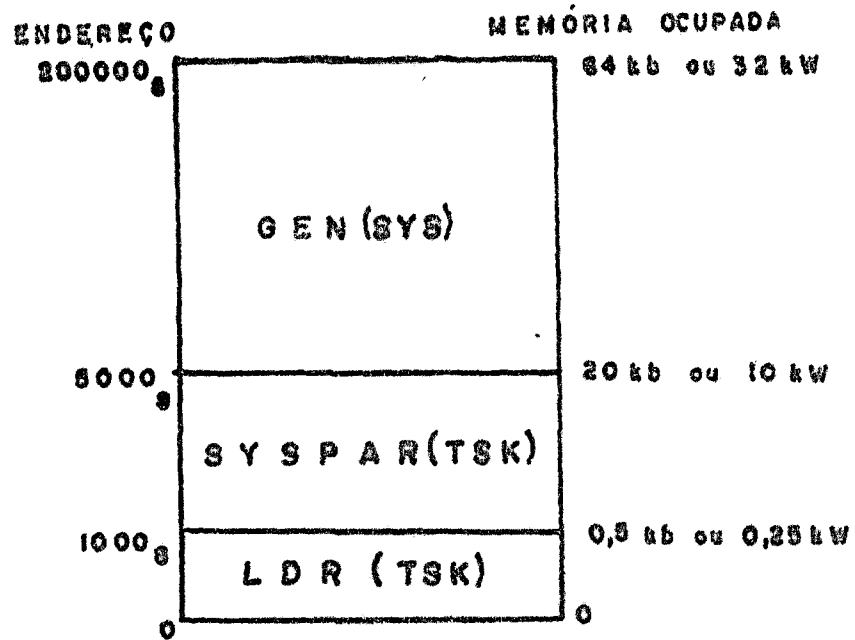


Fig. 4.1- Partições originais do sistema RSX11M do IPEN.

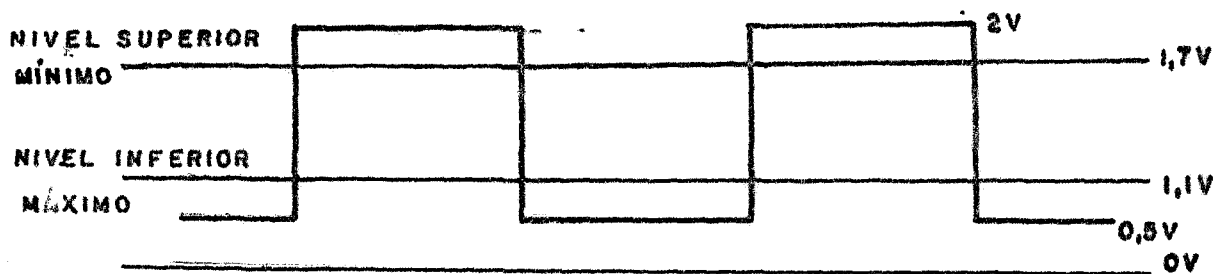


Fig. 4.2- Níveis máximo e mínimo para o "clock" externo.

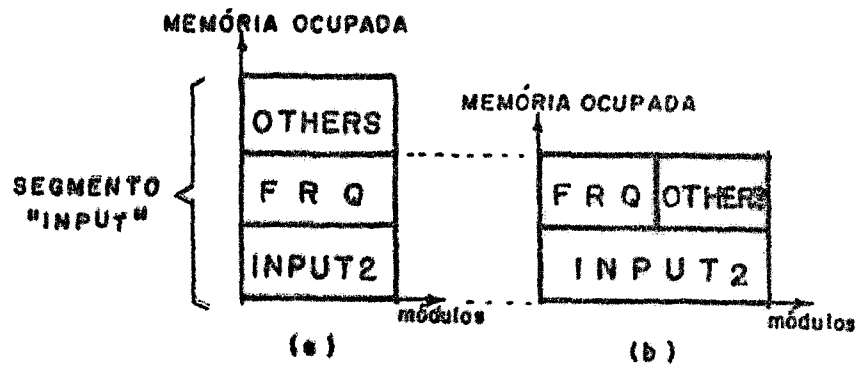


Fig. 4:3a- Alocação inicial de memória para o módulo INPUT
 4:3B- Nova alocação de memória pela divisão INPUT em segmentos "overlay".

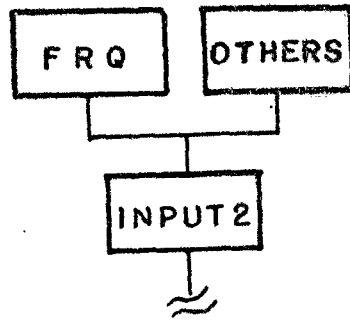


Fig. 4.4- Estrutura "overlay" de INPUT.

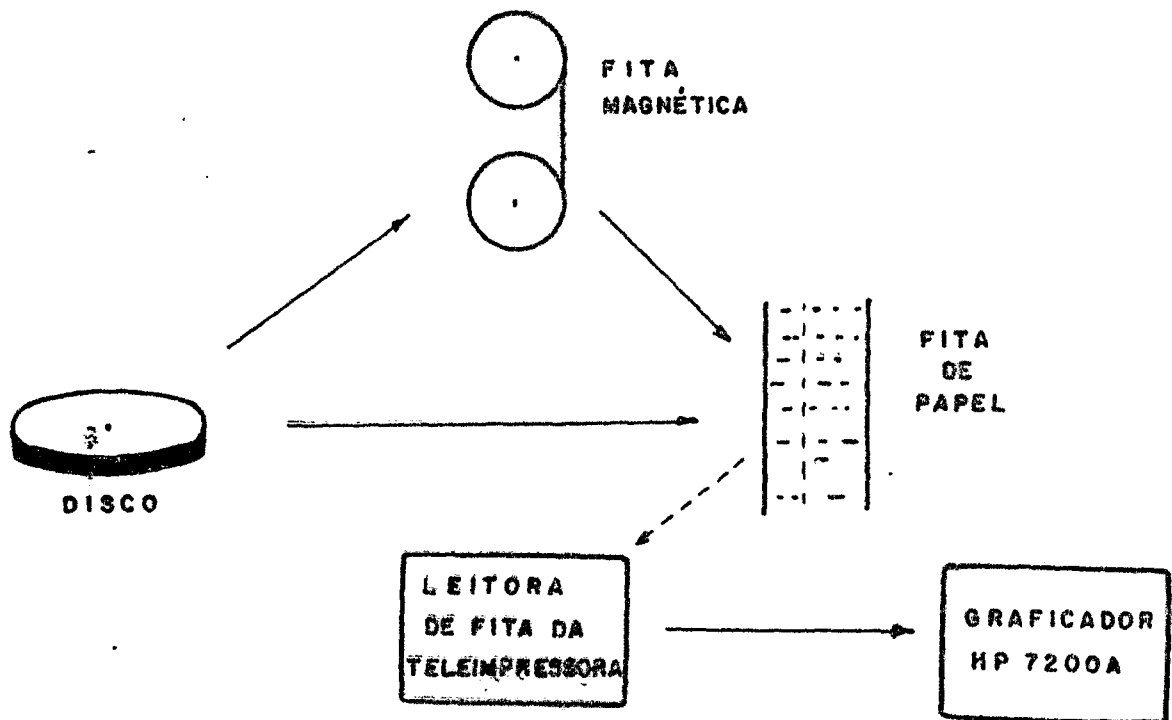


Fig. 4.5- Esquema utilizado para se fazer gráficos no IPEN.

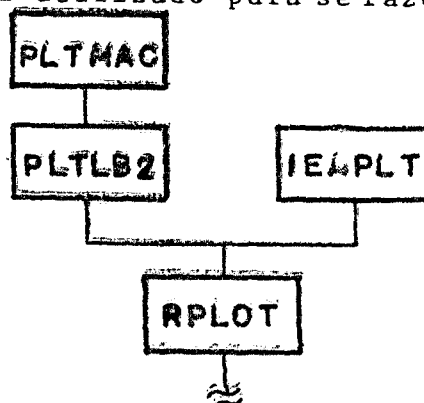


Fig: 4.6- Estrutura "overlay" do segmento nº 6.

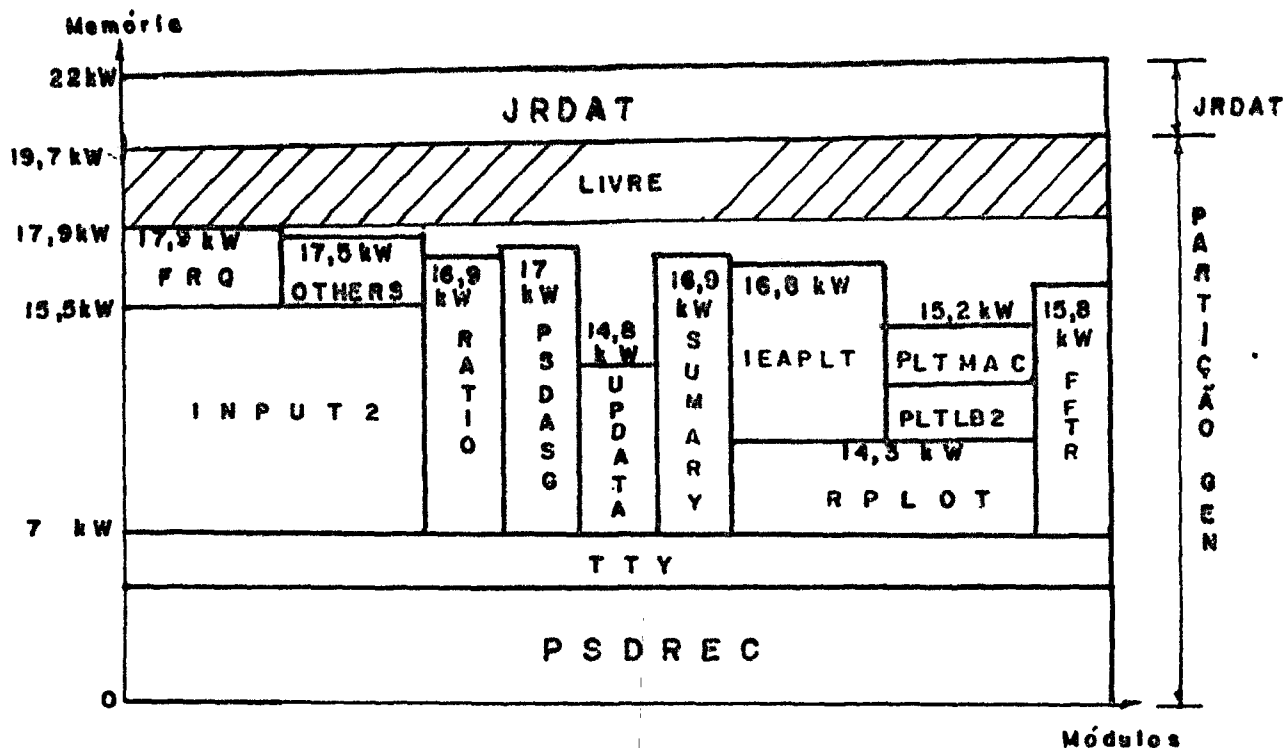


Fig. 4.7- Alocação atual de memória do programa PSDREC.

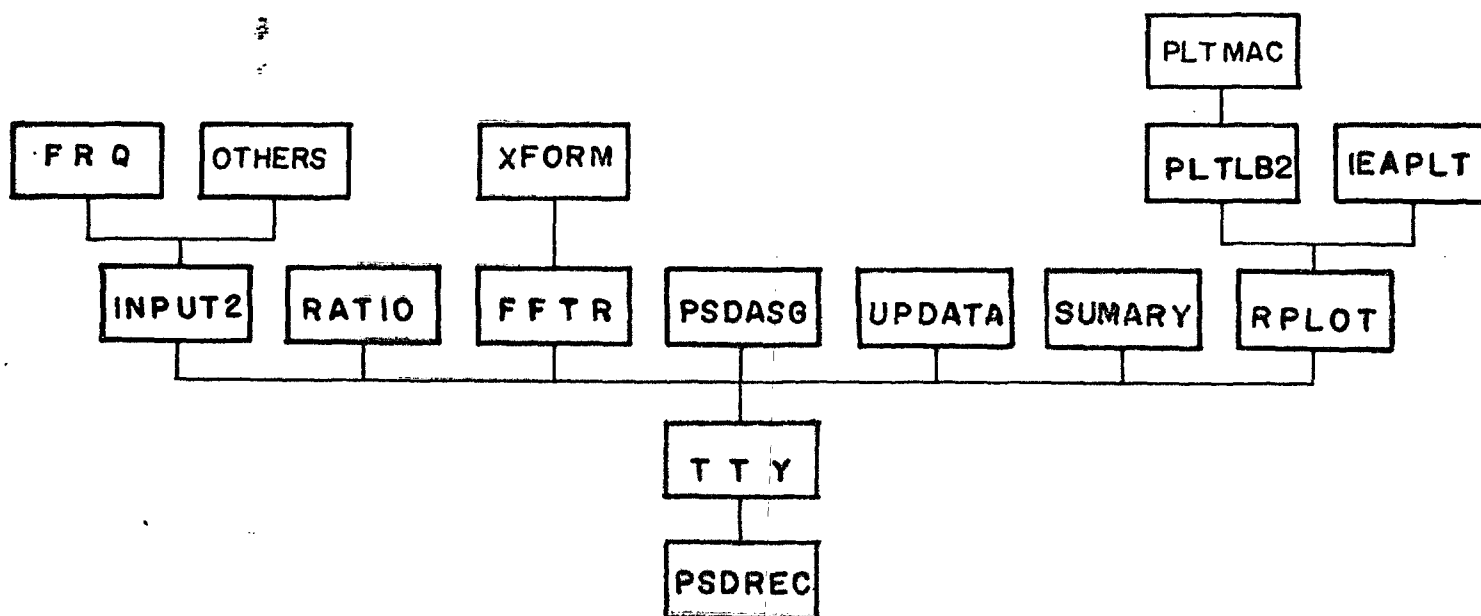


Fig: 4.8- Estrutura "overlay" do programa PSDREC implantado no IPEN.

5. RESULTADOS E COMENTÁRIOS

5.0- Apresentação

Neste capítulo mostram-se os resultados obtidos utilizando-se o programa PSDREC. Tais resultados originaram-se de testes relativos a duas condições distintas: testes relativos às condições simuladas e os relativos às condições "reais". Com os testes de condições simuladas pretendeu-se testar a capacidade do programa em reconhecer determinadas condições específicas, e ainda a influência de determinados parâmetros (dados de entrada) na capacidade do programa continuar a reconhecer essas mesmas anomalias. O programa também foi aplicado a um caso "real", o reconhecimento das variações espectrais que ocorreram quando se mudou a vazão de uma bomba hidráulica. Nesse último caso, o sinal provinha de acelerômetros colocados na bomba, e era posteriormente gravado, sendo este o sinal analisado.

§

Deve-se observar que não se fazem medidas exatamente, pois falta uma análise de erros, mas testes com os quais procuramos mostrar a aplicação e a capacidade do programa PSDREC reconhecer anomalias.

O procedimento geral de análise foi: 1) fez-se o aprendizado sem introduzir anomalias; 2) após o aprendizado, no período de monitoração introduz-se a anomalia e é verificado se o programa a percebe.

Na tabela 5.21 é dado um sumário dos testes feitos.

5.1- Situações para Aplicação do Programa

São enumeradas abaixo algumas situações reais, nas quais se deseja que o programa atue apontando anomalias:

- 1) Capacidade de detectar picos sobrepostos: deseja-se saber qual a diferença mínima de frequência entre dois picos para que o programa consiga detectar a existência de ambos (fig. 5.1).
- 2) Capacidade de detectar aumento de nível dos picos: deseja-se saber qual o aumento de nível que o pico deve ter em relação a sua amplitude anterior, que o programa percebe (fig. 5.2).
- 3) Alargamento ou encurtamento de picos: deseja-se saber também qual a variação na largura do pico percebido pelo programa. Neste trabalho só essa situação não foi simulada (fig. 5.3).

Essas situações se referem aos casos mais comumente encontrados nas situações reais. É possível que apareçam mais que um desses casos em um espectro real analisado, porém, para efeito de teste do programa, são usados espectros simulados em que aparece somente uma das situações expostas acima. Os testes serão realizados para se ver que variação mínima o programa é capaz de notar.

5.2- Parâmetros do Teste de Sobreposição

Esse teste (5.1) foi feito para definir a mínima separação entre dois picos resolvidos; foi realizado utilizando-se um gerador de ruído branco e dois geradores senoidais. O gerador de ruído branco forneceu um espectro de amplitude constante no domínio da frequência, e de nível superior aos ruídos de fundo presentes no sistema de simulação: Os sinais senoidais simulam uma perturbação na forma de picos sobrepostos no sinal de ruído branco.

A separação das senóides foi reduzida até que a resolução das duas frequências distintas não fosse mais possível. Para que fosse obtida essa coincidência, a frequência do primeiro gerador (Tektronix-FG 501 - Apêndice F) era fixada por meio de um "dial" (f_1), enquanto se aproximava a frequência (f_2) do segundo (Rockland-5100 - Apêndice F) à do primeiro por meio de controles digitais. Quando se misturam esses dois sinais senoidais, obtém-se uma senóide modulada em amplitude por F_{BAT} , igual à diferença entre f_1 e f_2 . O ajuste para que as frequências coincidissem foi feito por meio de um osciloscópio, tornando-se F_{BAT} a menor possível, ou $T_{BAT} = 1/F_{BAT}$ o maior possível. Assim, se temos um espectro com 512 frequências (máximo):

$$\Delta f = \frac{F_{MAX}}{512} \quad (5.1)$$

No caso específico de se analisarem todas as frequências do espectro, para que Δf seja imperceptível ao sistema de análise, será tomado um Δf tal que:

$$\Delta f \geq F_{BAT} \cdot 10 \quad (5.2)$$

Para os testes que se fizeram, $F_{MAX} = 500$ Hz, então:

$$\Delta f = \frac{500}{512} = 0,967 \text{ Hz} \quad (5.3)$$

$$F_{BAT} \leq \frac{0,967}{10} = 0,0967 \text{ Hz} \quad (5.4)$$

$$T_{BAT} = \frac{1}{F_{BAT}} \geq 10,24 \text{ s} \quad (5.5)$$

Assim, T_{BAT} deve ser ajustado de modo a ser maior ou igual a 10,24 s. Após esse ajuste, o sinal era monitorado durante um período de, aproximadamente, 3 minutos para verificar que T_{BAT} não mudava neste tempo. Finalmente, foram fixados os parâmetros de entrada do programa. O diálogo completo para a fixação desses parâmetros refere-se à fixação dos números de blocos a serem empregados na análise.

Primeiramente, deve-se estabelecer o número de espectros que irão compor um espectro médio a ser analisado (PSDZ). Para se terem 512 frequências, e uma frequência máxima de 500 Hz, é necessário que se amostram 1024 pontos do sinal $x(t)$, a uma frequência de 1000 Hz. Assim, o período de $x(t)$ que será amostrado será de 1 segundo. A figura 5.4 ilustra essa situação.

Note-se que $T_{BAT} = 10$ s, enquanto que $T_{AMOSTRAGEM}$ (ou T_A) é 1 s; isso traz problemas na análise porque certamente a integral de potência de T_{A1} é bem menor que a de T_{A2} . Esse fato fará com que, pelo menos, o discriminador D_I esteja fora de seus níveis normais de aceitação. Para o cálculo do número de blocos no PSDZ pode-se usar a seguinte fórmula, derivada dos dados analisados neste trabalho:

$$(N \cdot T_p + \frac{N_{PTS}}{f_A}) \geq \frac{T_{BAT}}{2} \quad (5.6)$$

ou

$$N \left(\frac{\log_2 N_{PTS}}{4} \right) - 1,6 + \frac{N_{PTS}}{f_A} \geq \frac{T_{BAT}}{2} \quad (5.7)$$

onde: N é o número de blocos

N_{PTS} é o número de amostras tomadas do sinal

T_p é o tempo de processamento em segundos, cujo valor aproximado é dado por:

Bloco de amostras	Nº de blocos no espectro analisado PSDZ (N_1)	Nº de blocos no espectro PSDT (N_2)	Nº de blocos em PSDB (N_3)	Intervalo entre dois espectros de tendência (N_4)
1024 ou 512	10	20	100	40
256	15	30	120	60

Tabela 5.2 - Número de blocos escolhidos a partir de 5.1 (N_1 , N_2 , N_3 e N_4 - Ver Cap. 2 e fig. 3.1)

A partir dos dados da tabela 5.2, calcula-se o número de blocos para se completar o período de aprendizado pela seguinte fórmula conseguida a partir dos dados que são analisados neste trabalho:

$$N_A = \left[\text{inteiro de } \frac{N_3}{N_2} - 1 \right] \cdot N_4 \quad (5.9)$$

Assim, N_A , para blocos de 1024 ou 512, é de 160 blocos, e para 256 é de 180 blocos.

Com isso estão estabelecidos os principais parâmetros a serem usados nos testes referentes à sobreposição de picos e que são pedidos no diálogo inicial (Apêndice B).

Em todas as análises foi usada a janela "Hanning."

$$T_P = \left(\frac{\log_2 N_{PTS}}{4} \right) - 1,6 \quad (5.8)$$

para $128 \leq N_{PTS} \leq 1024$

f_A é a frequência de amostragem em Hz

T_{BAT} é o período da frequência de batimento em segundos

Na equação (5.6) o quociente N_{PTS}/f_A é o tempo necessário para amostrar N_{PTS} a uma frequência f_A ; esse tempo somado a T_P dá o tempo total gasto para um bloco de dados, dentro da subrotina XFORM.

Para os valores típicos usados nos testes, chega-se aos valores mostrados na tabela 5.1, para o número de blocos necessários para o cálculo de PSDZ.

N_{PTS}	f_A	T_{BAT}	N
1024	1 kHz	14 s	10
512	1 kHz	14 s	10
256	1 kHz	14 s	15

Tabela 5.1 - Número de blocos em PSDZ

Após terem sido determinados os números de blocos em PSDZ foram escolhidos outros números de blocos referentes aos outros tipos de espectros e que estão mostrados na tabela 5.2.

5.2.1- Equipamento Utilizado

A descrição completa de cada equipamento está no Apêndice F, e na figura 5.5 está representado o arranjo experimental utilizado. Nessa figura têm-se:

- Seno I - é um gerador senoidal digital, cuja frequência era variada durante os testes em torno de 300 Hz, e a amplitude de 3V variada de teste para teste.
- Seno II - é um gerador senoidal digital, cuja frequência era mantida fixa durante os testes em, aproximadamente, 300 Hz e uma tensão de 3V fixa.
- RB - gerador de ruído branco - valor usado: 110 dB μ V.
- Filtro - frequência de corte (ponto de -3 dB) fixada por meio de um "dial" em 300 Hz ou 60% da frequência máxima (F_{MAX}).
- Disparador - foi usada uma onda quadrada com nível superior de 2,0 V e nível inferior de 0,5 V, e frequência de, aproximadamente, 1 kHz.

5.2.2- Escolha da Faixa de Frequências para Análise

Este foi o primeiro teste realizado e serviu para testar a capacidade do programa reconhecer anomalias quando analisa toda a faixa de frequências, entre 0 e F_{MAX} , ou um intervalo mais restrito, compreendido entre f_1 e f_2 . Nesse teste, a diferença de amplitude entre Seno I e Seno II foi de 0 dB. O resultado é dado a seguir.

Faixa analisada	Variação de frequência percebida/ Δf	Frequência de amostragem
(0;482 Hz)	0,3 Hz/0,94 Hz	966 Hz
(250;330 Hz)	0,1 Hz/0,95 Hz	971 Hz

Obs.: Foi usado um bloco de 1024; Δf é a resolução de frequência do espectro calculado.

Tabela 5.3 - Variação de frequência percebida em função da faixa de frequências analisadas

Tanto para este teste como para os demais, referentes às outras condições simuladas, os discriminadores 2, 3 e 5 é que acusaram as variações, isoladamente ou em conjunto. As figuras 5.12 e 5.13 mostram os espectros resultantes desses testes.

5.2.3- Teste da Sobreposição de Picos

Vários testes foram realizados empregando-se sobreposição de picos (fig. 5.6). Nestes testes foram variados tanto o tamanho do bloco de dados analisados como a amplitude do sinal correspondente ao gerador digital (Se no I). Foram analisadas as frequências na faixa de 250 a 330 Hz. Os resultados aparecem na tabela 5.4.

Atenuação de Seno I (referente a 3V)	Bloco de Dados	Variação de frequência percebida/ Δf	f_A
0 dB	1024	0,1 Hz/0,95 Hz	971 Hz
0 dB	512	0,3 Hz/1,90 Hz	971 Hz
0 dB	256	0,6 Hz/3,79 Hz	970 Hz
15 dB	1024	0,6 Hz/0,95 Hz	972 Hz
15 dB	512	1,7 Hz/1,90 Hz	972 Hz
15 dB	256	3,0 Hz/3,80 Hz	972 Hz
30 dB	1024	1,5 Hz/0,95 Hz	975 Hz
30 dB	512	4,0 Hz/1,90 Hz	975 Hz
30 dB	256	6,0 Hz/3,81 Hz	975 Hz
45 dB	1024	4,0 Hz/0,95 Hz	976 Hz
45 dB	256	15,0 Hz/3,82 Hz	977 Hz

Tabela 5.4 - Variação de frequência percebida pelo programa para vários blocos de dados e atenuações de um dos sinais

As figuras 5.13, 5.14, 5.15 e 5.16 mostram alguns desses testes.

5.2.4- Faixa Dinâmica do ADF

Foi feito um teste simples, que visou verificar o nível de ruído interno do ADF para que se pudesse estabelecer sua faixa dinâmica para utilização em análises.

Para se conseguir a quantidade de décadas que existem entre a amplitude máxima admissível (+10V) e a mínima tensão possível (ruído do sistema), ou seja, a faixa dinâmica, foi usado o gerador senoidal digital (Seno II), que possui um controle de nível DC e um nível AC. O sinal AC foi colocado em seu nível mínimo (0,46 V_{pp}), en-

quanto o nível DC foi elevado a um valor tal que quando somado ao nível AC produzisse a máxima tensão admissível pelo ADF (10 V). Assim, foi tomado aproximadamente 9,7 V para o nível DC.

Não foi usado o filtro, pois não foi usado o ruído branco, e também o filtro atenuaria demais o sinal de Se no II.

5.2.4.1- Circuito Utilizado

Na figura 5.7 aparece o arranjo experimental, onde:
 Seno II - gerador senoidal com frequência de, aproximadamente, 300 Hz e amplitude de 0,46 V_{pp}, nível DC de 9,7 V.

Disparador - onda quadrada com nível superior de 2,0 V e nível inferior de 0,5 V, e frequência de aproximadamente 1 kHz.

3

5.2.4.2- Resultado do Teste da Faixa Dinâmica

A figura 5.17 mostra o espectro obtido para uma média de 10 blocos de 1024 dados amostrados a 978 Hz. Notar a presença das frequências de 60 Hz, 90 Hz e 300 Hz, sendo as duas primeiras relacionadas à rede, enquanto que a última foi produzida pelo gerador Seno II. Observa-se também um aumento no nível do ruído em, aproximadamente, 450 Hz. Abaixo de 400 Hz, tem-se aproximadamente 90 dB entre o nível máximo de sinal e o ruído de fundo. Esta estimativa de 90 dB é conservadora porque existe sobreposição de espectro (pelo menos nas frequências próximas a F_{MAX}). Na frequência de 450 Hz, tem-se dúvida se este pico vem pela sobreposição de 550 Hz ou realmente existe um aumento do ruído em 450 Hz. Para efeitos dos

testes realizados esse fato não tem grande importância, pois não se analisaram muitos espectros nesta faixa e usou-se, nas análises, um ruído branco com nível superior a este dos 450 Hz.

5.2.5- A Percepção de Anomalias pelos Espectros

Usando-se a sobreposição de picos de mesma amplitude, mostra-se que variações pouco maiores que as percebidas nas comparações entre os espectros de tendência e o básico são percebidas pelos outros tipos de comparação. Usando-se um bloco de 1024 fez-se esse teste, cujo resultado é mostrado na tabela 5.6 abaixo.

Variação de frequência Hz/Hz	f_A Hz	Tipo de comparação em que se percebeu a variação
0,3/1,9	971	PSDT/PSDB
0,4/1,9	971	PSDZ/PSDT*, PSDT/PSDT*, PSDT/PSDB

Tabela 5.6 = Capacidade dos 3 tipos de comparações que o programa faz em perceber variações

A tabela 5.6 mostra um fato mais ou menos óbvio, ou seja, com o aumento do número de blocos envolvidos nas comparações espectrais há uma conseqüente melhora na estatística e, portanto, tem-se maior restrição da variação que é admitida como normal. Até aqui, em PSDB têm-se 100 blocos, em PSDT têm-se 20 e em PSDZ, 10 (menos para 256; ver tabela 5.2).

5.2.6- Teste para Frequência Alta

Este teste visou a repetição de um dos testes feitos com sobreposição de picos, porém com a diferença de que agora é feito para uma frequência 100 vezes maior, ou seja, para dois senos com uma frequência aproximada de 30 kHz e usando-se uma atenuação do sinal gerado por Seno I de 15 dB. Esse teste serviu também para se verificar o funcionamento do "clock" interno, pois essa frequência exige uma frequência de amostragem tal que faça o programa escolher automaticamente esse "clock". O arranjo experimental é idêntico ao da fig. 5.5, só que agora tem-se uma nova frequência de corte (30 kHz), as frequências de Seno I e II são de 30 kHz e o disparador foi mantido a 1 kHz (o "clock" interno é disparado por um pulso externo).

Para um bloco de 1024, a variação que o programa percebeu foi de 40 Hz/125 Hz de resolução, para uma frequência de "clock" interno de 125 kHz (fig. 5.18).

5.3- Parâmetros para os Testes de Aumento de Nível de Picos

Este teste foi mencionado no item 5.1, e foi realizado usando-se um gerador de ruído branco e um gerador senoidal (Seno II). Os valores das variáveis e o arranjo experimental são mostrados na fig. 5.8. O procedimento geral usado nestes testes foi: 1) fez-se o aprendizado com Seno II, a um nível baixo próximo do nível do ruído branco; 2) na fase de monitoração, o nível do Seno II foi aumentado até que o programa percebesse o aumento. Na figura 5.8, onde está mostrado o equipamento utilizado, note-se a inclusão de um atenuador em série com Seno II e um gerador DC. O atenuador foi necessário para ate

nuar em 5 vezes, diminuindo para 90 mV, o nível mínimo de Seno II. Isto também atenua demais o nível DC, daí a necessidade da fonte DC.

5.3.1- Teste do Aumento do Nível dos Picos

Neste teste, variou-se o bloco de dados e foi encontrado o aumento mínimo de amplitude (em dB) que o programa percebe. Os parâmetros usados foram os mesmos da tabela 5.2, usando-se também a janela "Hanning". Os resultados aparecem na tabela 5.7 e na figura 5.19 é mostrado um dos casos.

Bloco de dados	Variação em amplitude percebida
1024	7 dB
256	8 dB

Tabela 5.7 - Variação em amplitude em função do bloco de dados

Este teste foi realizado para a faixa compreendida entre 250 e 330 Hz, e para uma frequência de amostragem de, aproximadamente, 1 kHz.

5.3.2- Teste do Número Mínimo de Blocos

Neste teste procurou-se o número mínimo de blocos que devem compor um espectro normal analisado para que este mostre um pico evidente. O arranjo experimental utilizado foi o mostrado na figura 5.8 e o nível foi de 7 dB, em relação ao mínimo de 90 mV, obtido quando se usa a

atenuação máxima do gerador mais a atenuação externa de 5 vezes para a amplitude do pico. Os testes foram feitos para blocos de 256 e 1024 dados, faixa de frequências de 250 a 330 Hz, frequência de amostragem de aproximadamente 1 kHz. Os resultados estão na tabela 5.8 e na figura 5.20 estão os espectros.

Bloco de dados	Número mínimo de blocos de dados para perceber uma mudança de 7 dB
1024	2
256	4

Tabela 5.8 - Número de blocos mínimo para a percepção de picos

5.3.3- Teste da Variação do Número de Blocos no Espectro Base

O teste da percepção de aumento de um pico foi feito para dois blocos (1024 e 256) e várias quantidades de blocos no espectro base. Este teste é uma repetição do teste definido em 5.3.1, com mudanças no número de blocos para a definição do espectro base e o período de aprendizado. A seguir é mostrada a tabela 5.9, com os resultados, e as figuras 5.21, 5.22 e 5.23 mostram alguns desses testes.

Bloco	Blocos no aprendizado (N_A)	Blocos no es- pectro base (N_B)	Aumento de ampli- tude percebida (ΔA)
1024	160	100	7 dB
1024	240	140	6 dB
1024	480	260	4 dB
1024	960	500	4 dB
256	180	120	8 dB
256	240	150	6 dB
256	480	270	6 dB
256	960	540	5 dB

Tabela 5.9 - Aumento de amplitude percebida em função do número de blocos no espectro base

5.4- Aplicação do Programa PSDREC a uma Situação "Real"*

Os últimos resultados obtidos referem-se à utilização do programa PSDREC e referem-se a uma situação "real". Portanto, esses resultados revestem-se de grande importância, pois esse uso do programa é praticamente o objetivo final do trabalho.

A análise, feita "off-line", foi de uma série de gravações FM das vibrações de um circuito de água da KSB em Jundiaí. O circuito consiste de um conjunto motor-bomba hidráulica, que está montado de acordo com a figura 5.9. As vibrações foram monitoradas usando-se acelerômetros colocados em diversos pontos (fig. 5.9). Os sinais de vários pares de acelerômetros foram gravados para 3 condições de vazão: 150, 700 e 850 galões por minuto (gpm).

* Situação real, aqui, tem o sentido de uma situação que não foi simulada, ao contrário das anteriores.

Nas análises feitas, não se pretendeu entrar no mérito dos resultados específicos do comportamento do sistema. O que se pretende mostrar é que o programa é capaz de reconhecer as mudanças que ocorrem.

O procedimento de análise foi: escolheram-se 3 trechos da fita referentes ao sinal do mesmo acelerômetro (fig. 5.9) para diferentes condições de vazão. Escolheu-se um desses trechos para refletir o comportamento "normal" do sistema. Assim, o aprendizado era feito usando-se esse trecho, e a monitoração se fazia em outro. No início da monitoração, por meio da opção 4 para interrupção do funcionamento normal do programa, era forçada a aquisição de um novo espectro de tendência para que, assim, se permitisse a comparação PSDT/PSDB, ou seja, entre um espectro o trecho a ser analisado (PSDT) e outro do trecho tomado como normal (PSDB).

5.4.1- Parâmetros Usados nas Análises

Os parâmetros usados nas análises foram escolhidos de acordo com o tamanho do trecho da fita que seria usado no período de aprendizado. Foram usadas as gravações feitas na posição 1 (fig. 5.9) para três vazões. Assim sendo: trecho 1 - 700 gpm; trecho 2 - 850 gpm e trecho 3 = 150 gpm.

Devido ao fato do trecho 1 ter comprimento maior, ele será usado para o período de aprendizado. As frequências de análise foram escolhidas de acordo com a resposta de frequência do acelerômetro (fig. 5.10). A 1 kHz tem-se uma atenuação de, aproximadamente, 1 dB (equivalente a um ganho de 0,8) e a 100 Hz tem-se atenuação de 0 dB.

baseados no tamanho do trecho 1 e nas escolhas das

faixas de frequências a serem analisadas, foram escolhidos os outros fatores mostrados na tabela 5.10.

f (análise)	Bloco	F_{MAX}	PSDZ (N_1)	PSDT (N_2)	PSDB (N_3)	N_4	N_A
(0,100 Hz)	512	200 Hz	5	10	50	20	80
(0,1 Hz)	512	2 kHz	10	20	100	40	160

Tabela 5.10 - Parâmetros usados nos testes referentes a condições não simuladas - condições reais

A escolha do tamanho do bloco para essas análises foi feita com base no número de blocos no espectro base e na resolução. Para um mesmo trecho de fita gravada, quanto maior o número de blocos no espectro base que se queira menor a resolução, e vice-versa.

5.4.2- Equipamento Utilizado

Na figura 5.11 aparece o arranjo experimental utilizado nas análises e no Apêndice F encontram-se os detalhes de cada equipamento.

Gravador de FM - Foi usado o canal A e a velocidade de reprodução, igual à velocidade de gravação, igual a 7 1/2 polegadas por segundo.

Filtro - Usadas 2 frequências de corte 100 Hz e 1 kHz (50% de F_{MAX}).

Fonte DC - Necessário, pois o sinal gravado não possui nível DC suficiente. O atenuador foi necessário devido à grande diferença entre as impedân-

cias de saída do filtro e da fonte. Foi usada uma tensão de 2,0 V.

Disparador - Onda quadrada com frequência de 400 Hz e 4 kHz.

5.4.3- Comparações entre os Trechos

Das análises das duas faixas de frequências, obtivemos os resultados mostrados na tabela 5.11.

Trechos comparados	$f_{\text{análise}}$	Frequências onde se encontraram anomalias (Hz)	Discriminadores que acusaram as diferenças	f_A
1 e 2	(0;1000 Hz)	(115;123) (238)	1, 3, 4 e 5	3940 Hz
	(0;100 Hz)	-	-	394 Hz
1 e 3	(0;1000 Hz)	(23,1;30,8;38,5) (246,4) (508,4;516,1;523,8)	2, 3, 4 e 5	3944 Hz
	(0;100 Hz)	(3,1) (8,5) (29,2)	1, 2, 3, 5, 7 e 8	394 Hz

Tabela 5.11 - Resultados obtidos da comparação dos 3 trechos

As figuras 5.24, 5.25 e 5.26 referem-se a todos estes testes.

5.4.4- Verificação Individual do Trecho 3

A análise dos vários espectros obtidos dos sinais gravados nos trechos 1 e 3 mostra que o sinal do trecho 3 não era constante. Esta mudança foi identificada durante o período de aprendizado e de monitoração para a faixa de frequências de 0 Hz até 1 kHz. Com exceção de

N_A e PSDB, todos os parâmetros de análise foram os mesmos da tabela 5.10. Devido ao tamanho do trecho, os valores destes foram modificados para $N_A = 80$ e PSDB = 60.

Como resultado foi obtida diferença nas comparações dos espectros de tendência e na comparação entre os espectros de tendência e base. Os discriminadores que acusaram essa diferença foram os de número 3, 4 e 5 para PSDT/PSDT*, e 3 e 5 para PSDT/PSDB. Essas comparações acusaram diferença na frequência de 15,4 Hz. As figuras 5.27 (a, b e c) mostram espectros representativos dessas análises.

5.5- A Rotina de Estado Estacionário

O programa PSDREC, recebido de ORNL, inclui uma rotina chamada SSTATE, no módulo FFTR. Esta é usada para verificar se um motor se encontra em estado estacionário, medindo a rotação dessas máquinas.

A existência do estado estacionário é essencial durante o período. É essencial que exista estado estacionário durante o período em que o espectro base é formado. Caso não exista estado estacionário neste período serão incluídas variações espectrais "anormais" no espectro base que, certamente, não terá sentido como padrão. A utilização deste espectro base permitirá a aceitação de condições anormais durante a fase de monitoração, e as condições normais poderão ser consideradas anomalias.

É oportuno mencionar que, em todos os testes, mante

* Isso devido ao fato de que, no início, os espectros de tendência e os PSDZ não mostravam discriminadores fora dos limites de aceitação, passando depois, durante o trecho, a apontar valores de discriminadores inaceitáveis.

ve-se a frequência de amostragem rigorosamente na faixa indicada, permitindo-se uma variação máxima de 1 Hz em 980 Hz, daí o uso do freqüencímetro nas figuras 5.5, 5.7, 5.8 e 5.11. Foi observado que uma variação de 3 Hz ou 2 Hz trazia problemas, pois implicava na variação da frequência máxima do espectro. Quando se varia a frequência máxima, mantendo-se o tamanho do bloco, pode ser que um pico que caia em uma certa componente do espectro passe a cair em outra, sendo então indicada anomalia. Esse problema é mais grave para espectros com maior poder de resolução (por exemplo, aqueles com 512 ou 256 frequências).

Um método prático que foi usado na percepção de anomalias ou ocorrência de condições anormais durante a monitoração é explicado abaixo.

Durante o período de aprendizado são usados os parâmetros de aceitação iniciais, já fixados pelo programa (portanto, o aprendizado é supervisionado). Essa supervisão dá ao operador o poder de julgar os dados que estão chegando para serem analisados e perceber o aparecimento de espectros anormais nesse período.

A experiência mostrou que, quando há grande variação no número de discriminadores espectrais inaceitáveis, por exemplo, o número de discriminadores inaceitáveis de repente muda de 1 ou 2 para 6 ou 7 discriminadores, certamente isto é devido a um espectro anormal. Note-se que, caso haja 6 ou 7 inaceitáveis sempre (durante o período de aprendizado), significa que os valores iniciais usados são simplesmente inadequados; ao fim da fase de aprendizado, o programa passa então a corrigir os valores teóricos de aceitação anteriores, passando a monitorar corretamente:

É de se notar também que, normalmente, o programa

fica menos sensível a problemas de estacionaridade quando analisa uma faixa de frequências mais estreita que $(0, F_{MAX})$.

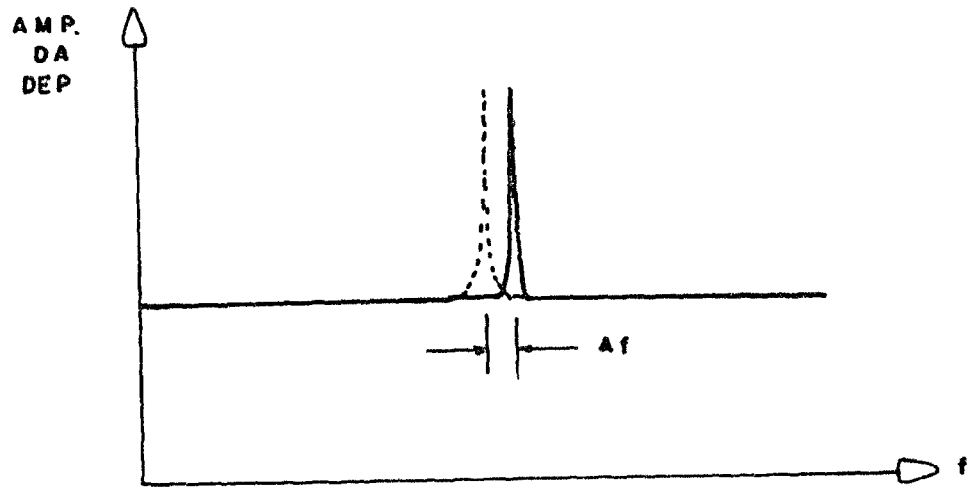


FIGURA 5.1- Variação de Frequência dos Picos

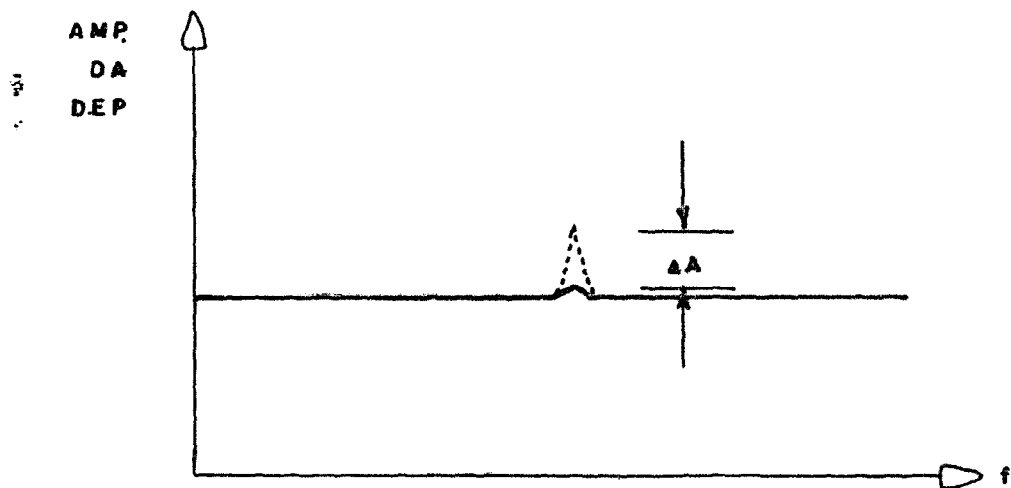


FIGURA 5.2- Variação de Amplitude dos Picos

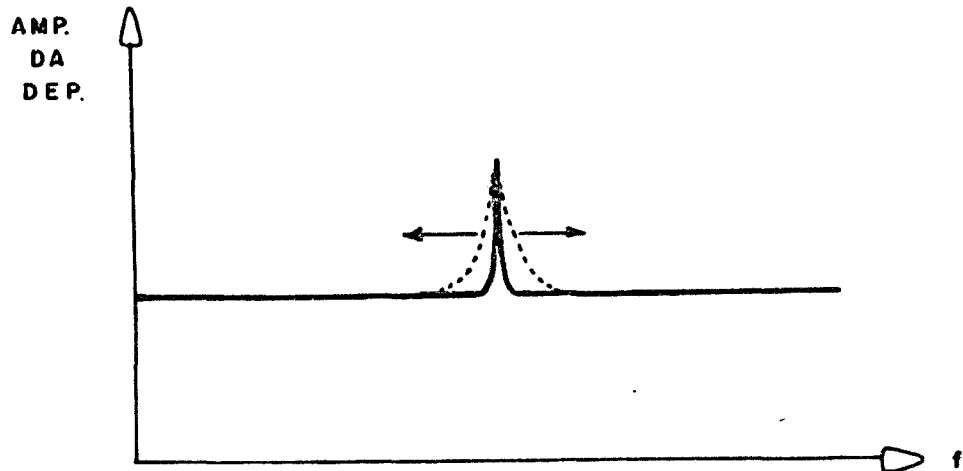
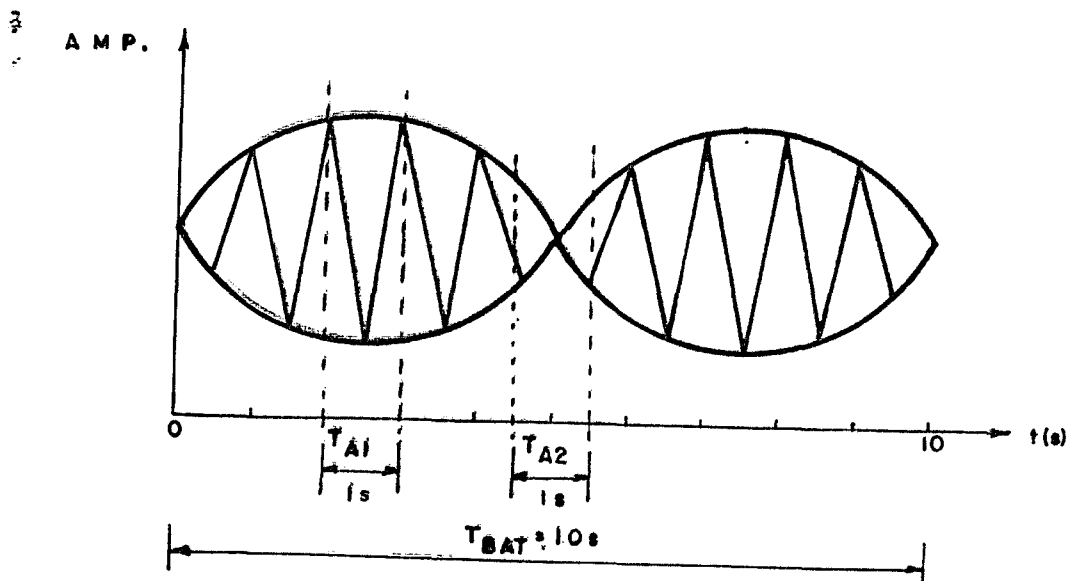


FIGURA 5.3- Alargamento de Picos

FIGURA 5.4- Sinal $x(t)$ - Batimento de dois Senos

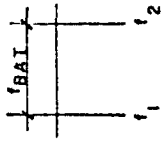
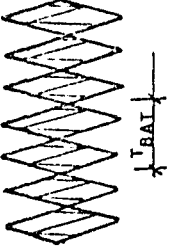
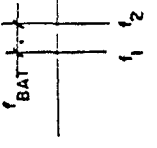
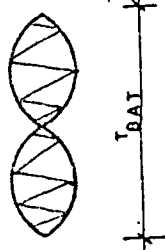
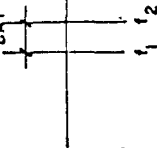
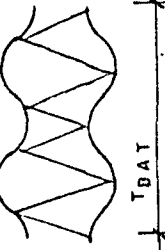
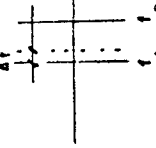
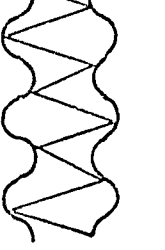
ETAPA	PROCEDIMENTO	DIAGRAMA DE FREQUÊNCIAS	SINAL RESULTANTE
1a.	Aumentar f_1 até $T_{BAT} \approx 14$ s $A(f_1) = A(f_2)$		
2a.	f_1 fixado de modo que $T_{BAT} \approx 14$ s (estável)		
3a.	Atenuação na amplitude do Seno $I(f_1)$ e fazer o aprendizado $A(f_1) < A(f_2)$		
4a.	Introdução de anomalia: diminuir f_1 de certo Δ e ver se o programa percebe a variação		

Fig. 5.6 - Procedimento geral empregado no teste de sobreposição de picos

Obs.: 1) f_1 - Seno I - digital

f_2 - Seno II - frequência fixa, amplitude fixa

2) Inicialmente $f_1 < f_2$ e amplitude de $f_1 =$ amplitude de f_2

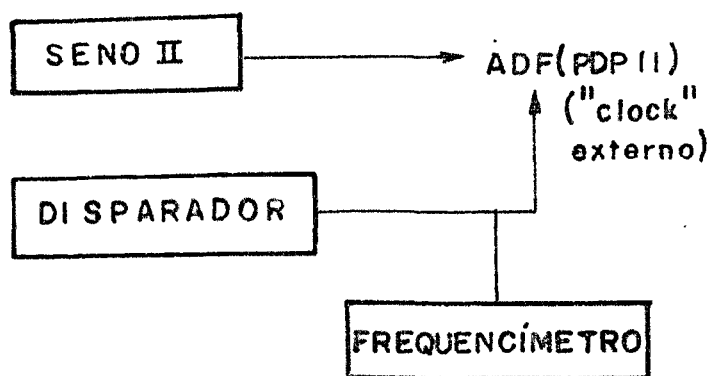


FIGURA 5.7- Arranjo Experimental utilizado para Estabelecer a faixa dinâmica do ADF

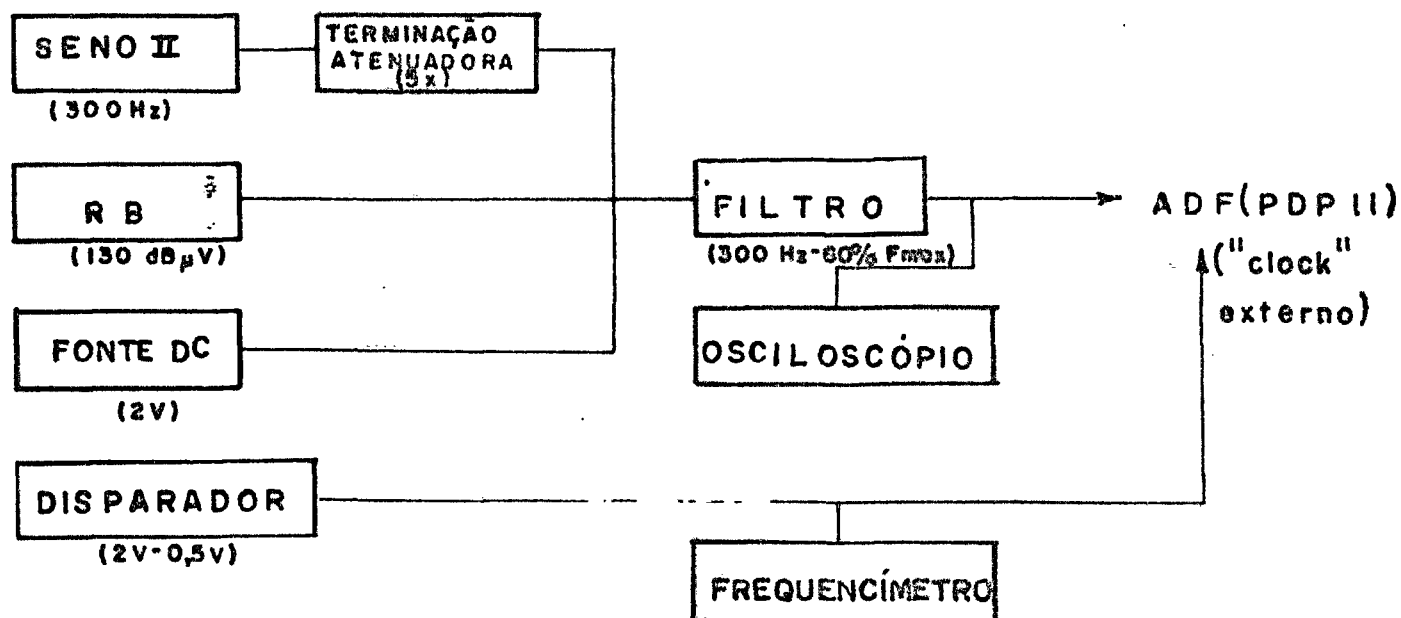
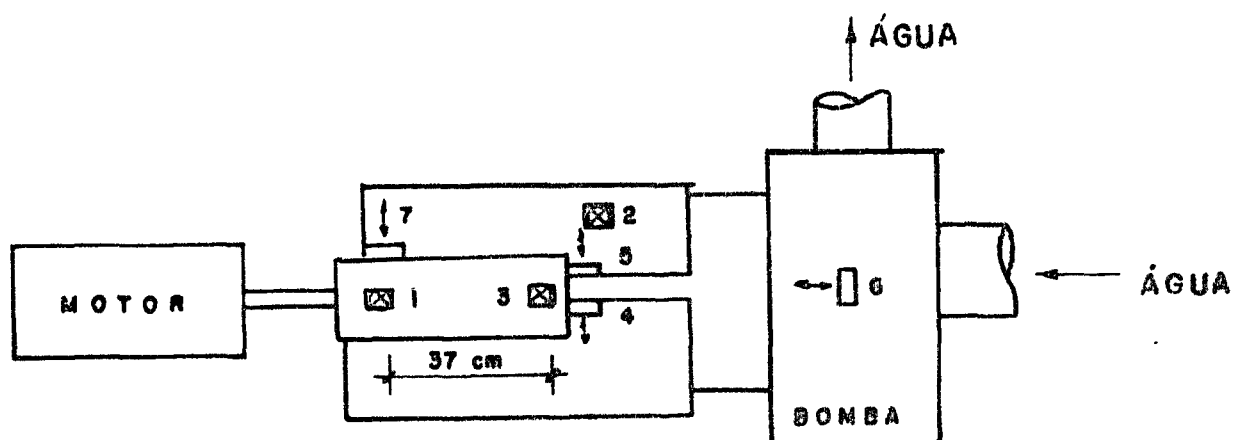


FIGURA 5.8- Arranjo Experimental para os Testes que Envolvem Aumento de nível dos Picos



↓ - Vibração no plano do papel

⊗ - Vibração perpendicular ao plano do papel

FIGURA 5.9- Posições dos acelerômetros no Conjunto Motor-Bomba Hidráulica (visto de cima)

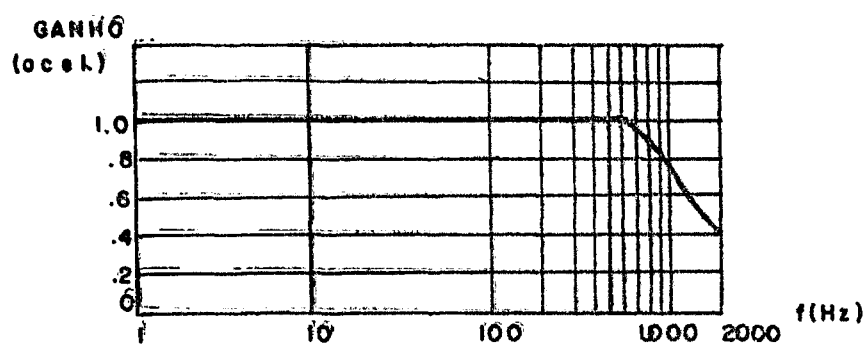


FIGURA 5.10- Resposta em Frequência dos Acelerômetros.

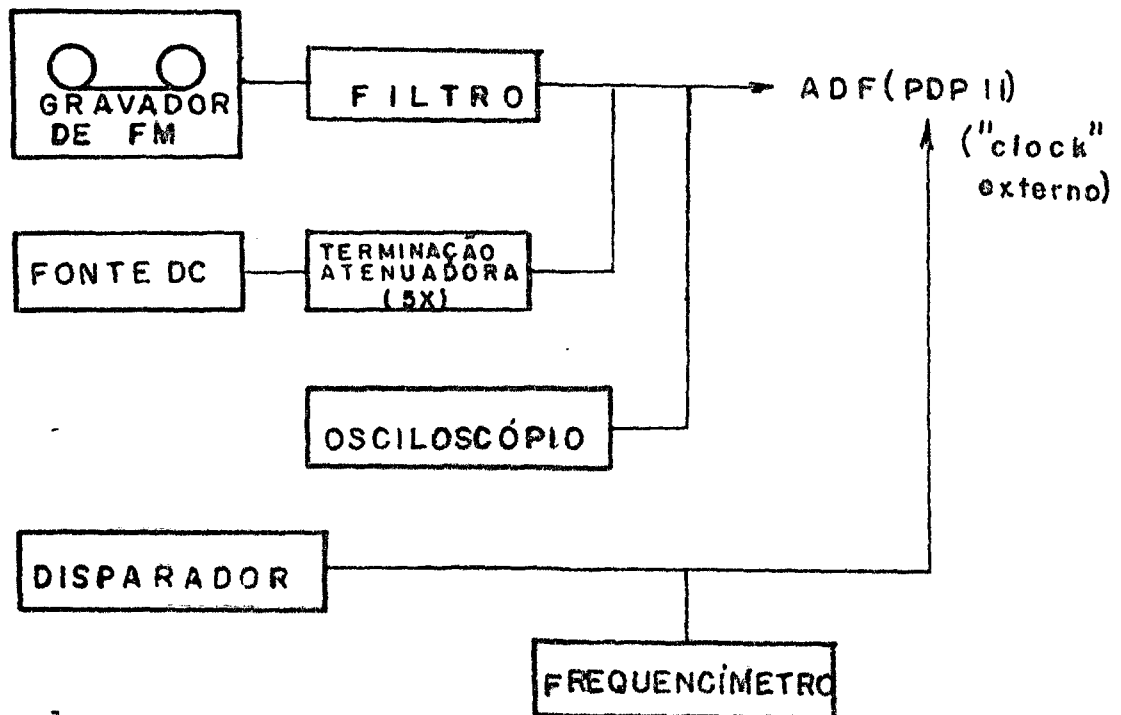


FIGURA 5.11- Arranjo Experimental para os Testes "Reais"

Nas figuras de nºs 12 a 27 foram usados os seguintes valores (a menos que haja indicação de outros valores nas próprias figuras):

PSDT - 20 blocos (para blocos de 1024 e 512)
PSDB - 100 blocos (para blocos de 1024 e 256)
Faixa de frequências analisada - (250,330 Hz)
Frequência de corte \sim 300 Hz
Frequência de amostragem \sim 1000 Hz
Atenuação de Seno I é em relação a 3V
Variação de amplitude em Seno II é com relação a
90 mV
PSDT - 30 blocos (para blocos de 256)
PSDB - 120 blocos (para blocos de 256)

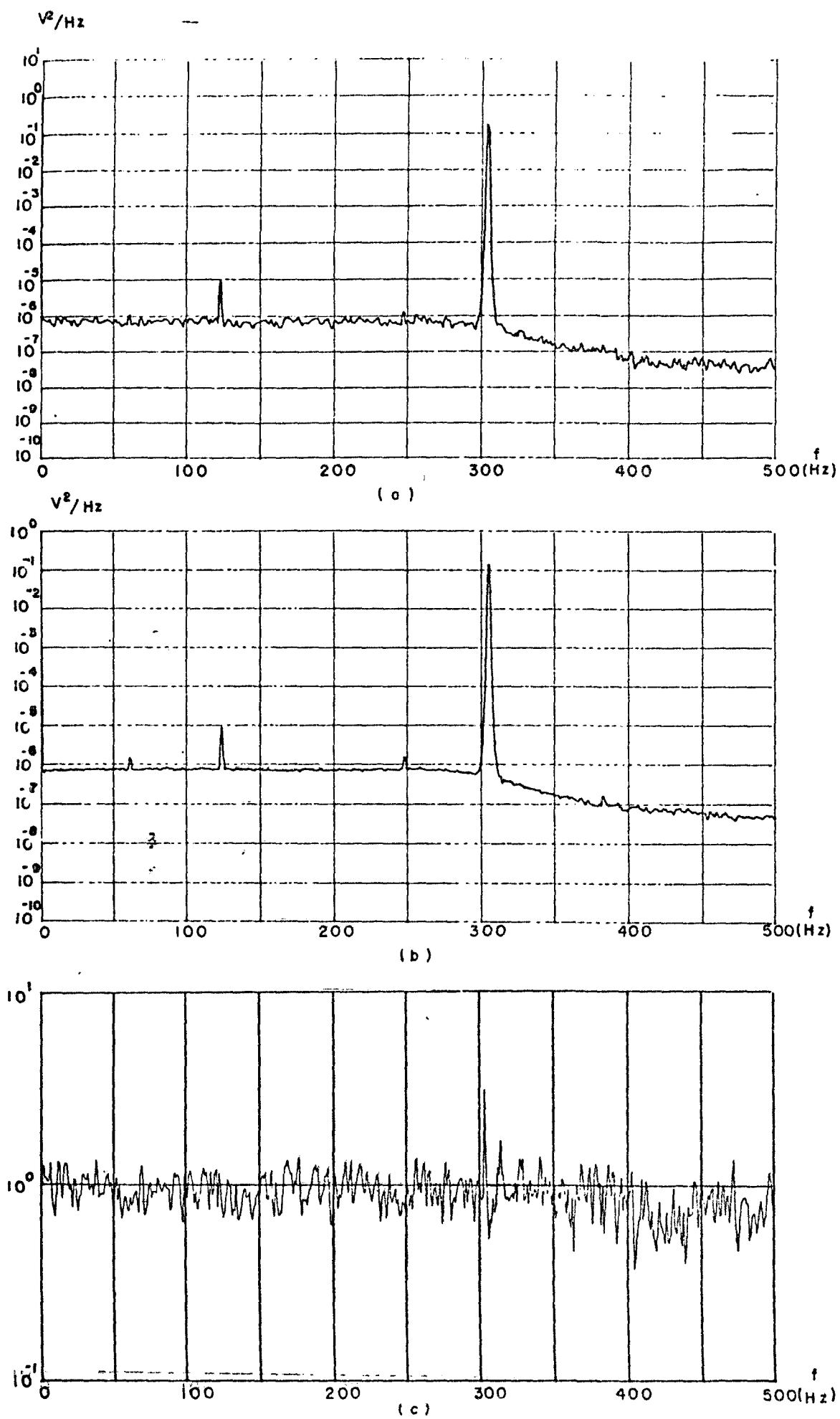
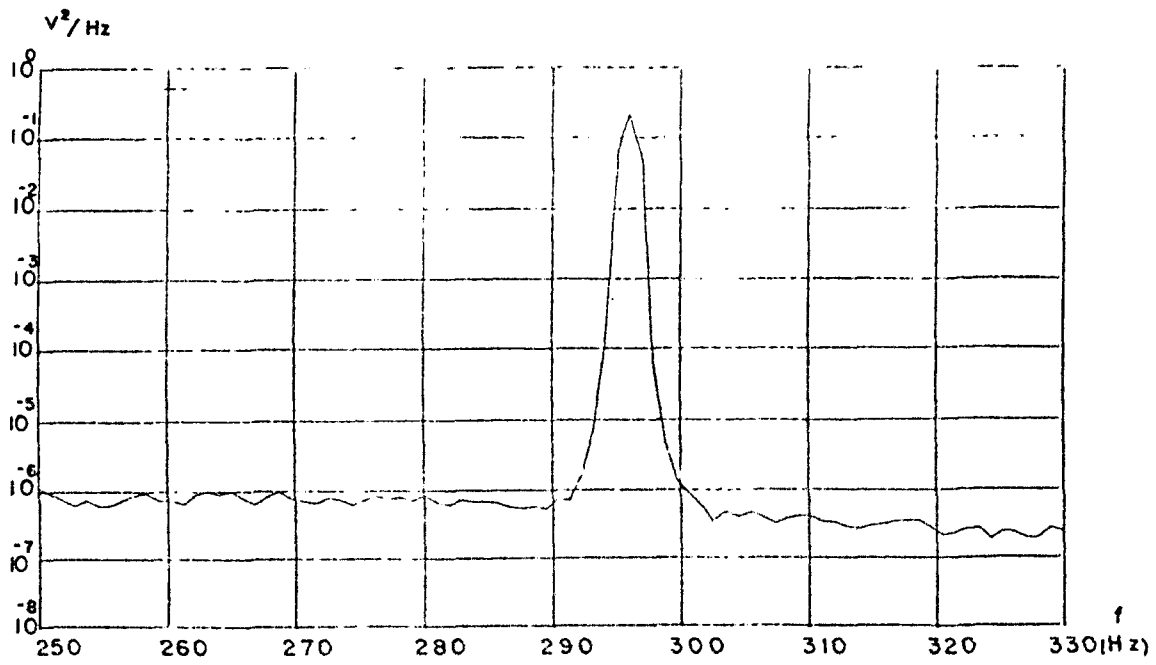
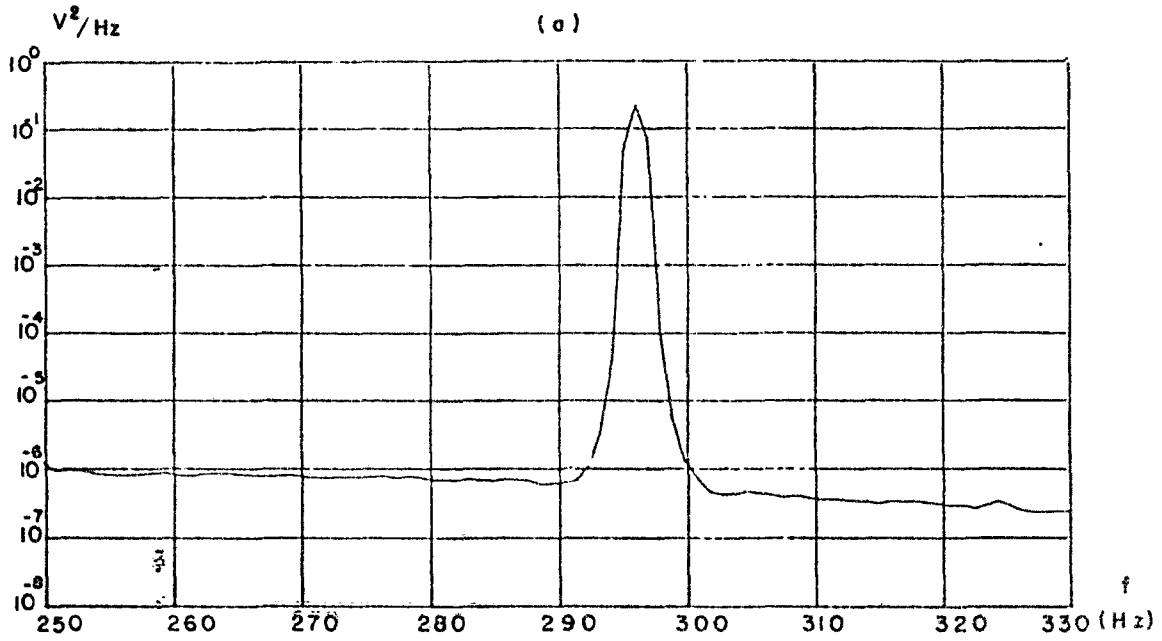


Fig. 5.12 - Teste da escolha da faixa de análise.

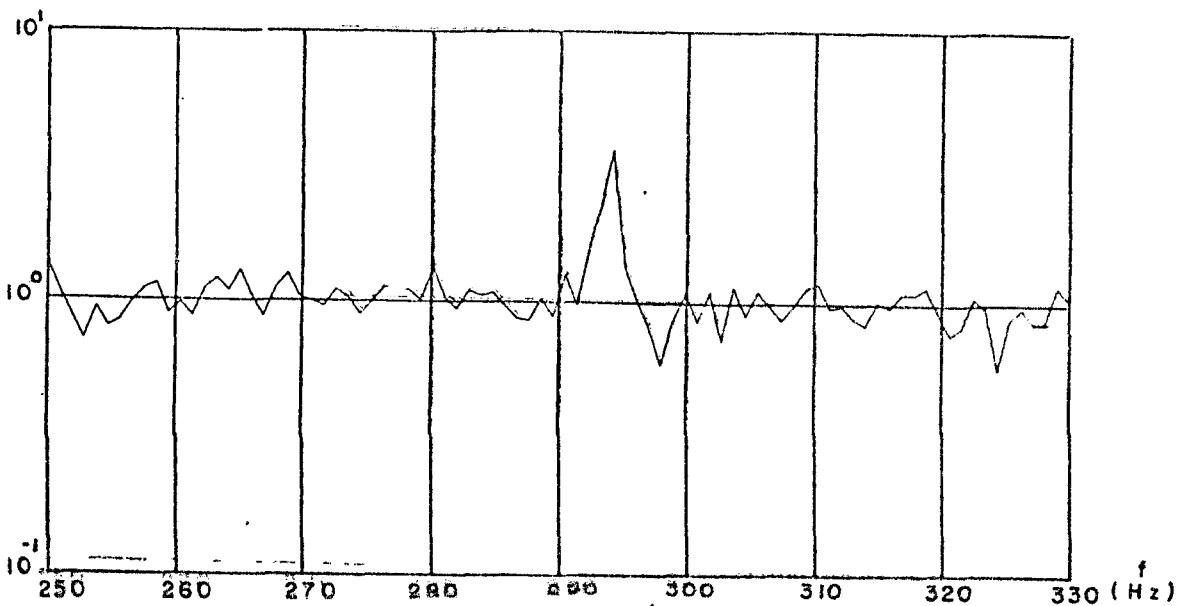
Análise de toda a faixa de frequências (0,500 Hz), bloco de 1024, Seno I sem atenuação e com variação de 0,3 Hz.
 a) PSDB; b) PSDT; c) PSDB/PSDB.



(a)

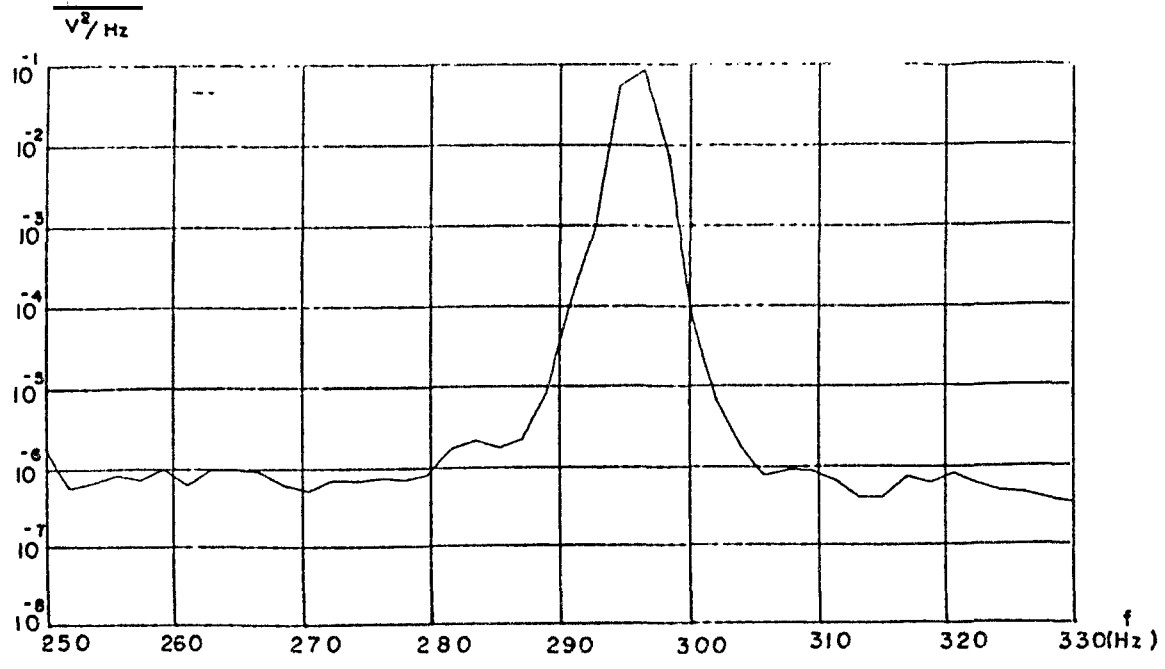


(b)

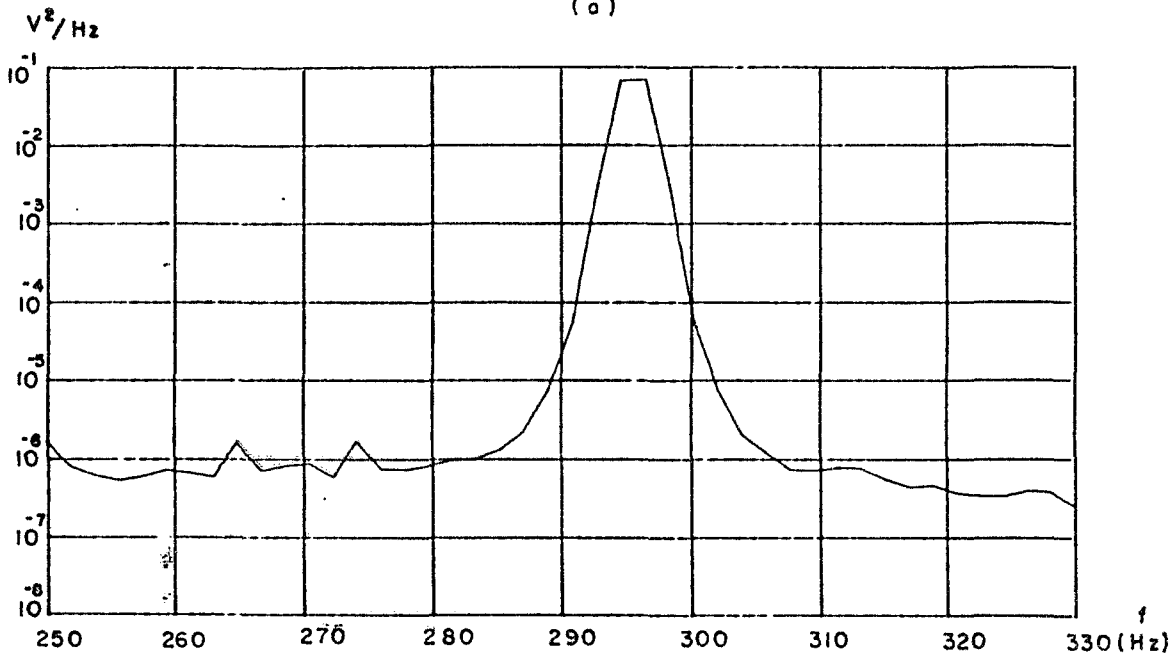


(c)

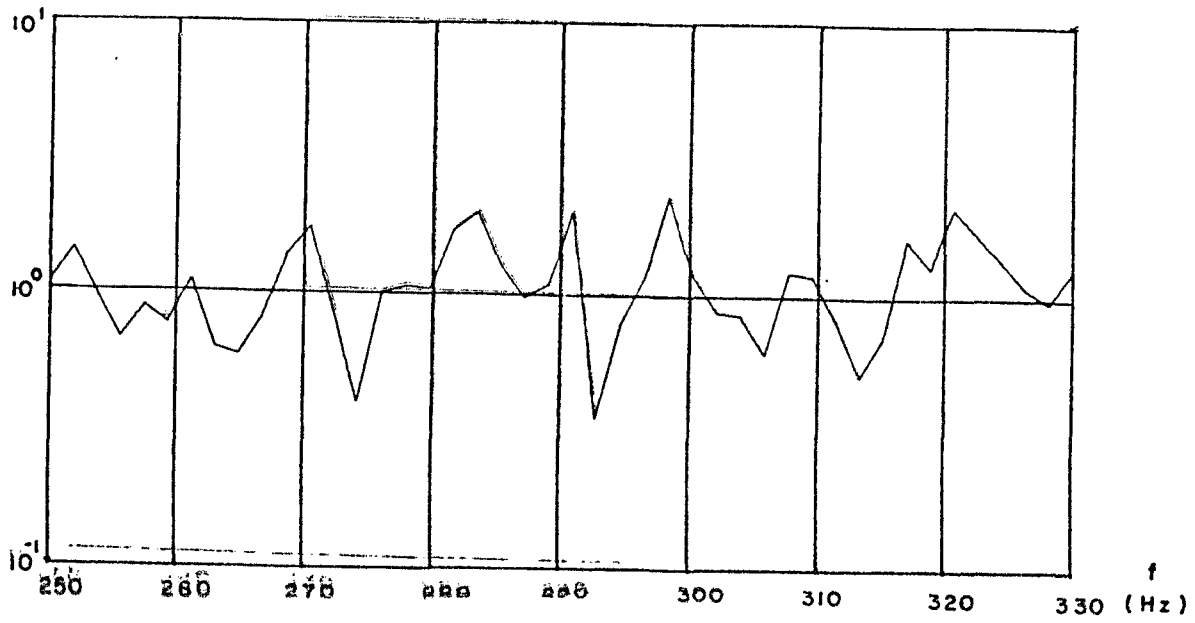
Fig. 5.13 - Teste de sobreposição de picos e escolha da faixa de análise.
 Bloco de 1024, Seno I sem atenuação e com variação de 0,1 Hz.
 a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.



(a)

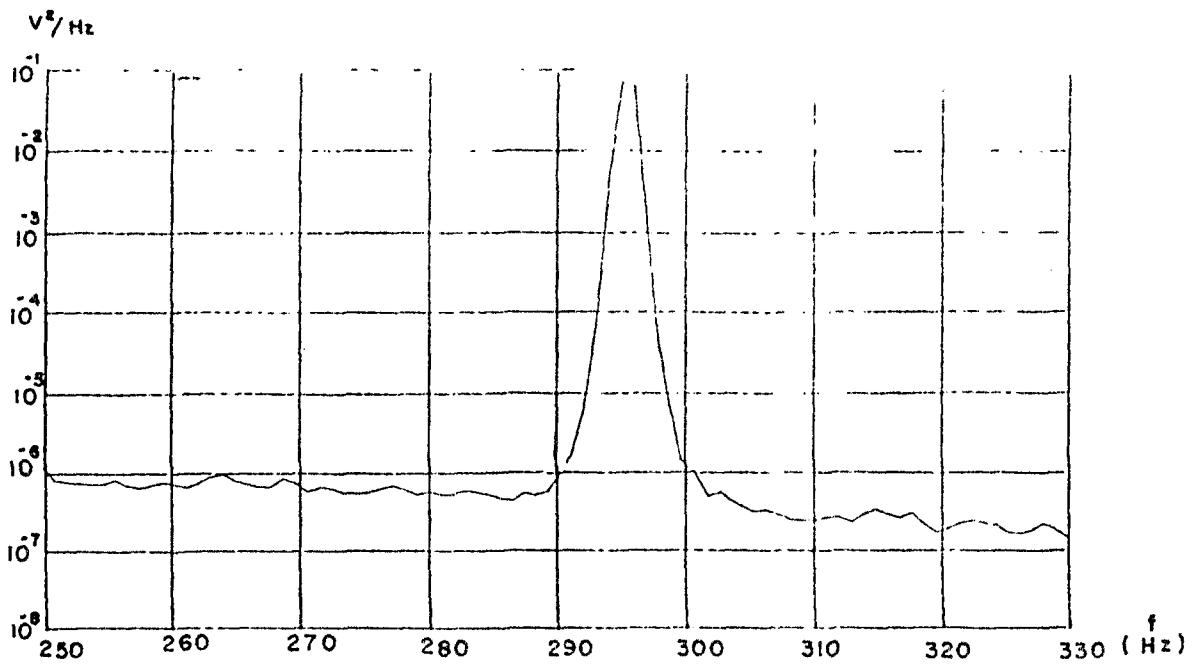


(b)

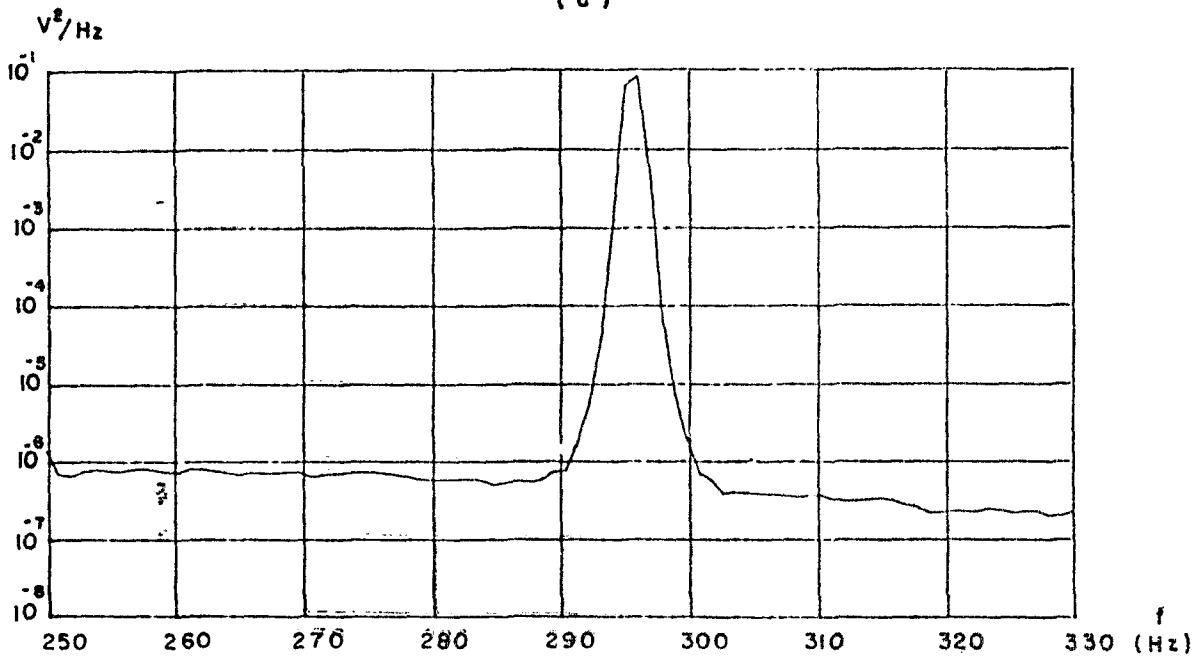


(c)

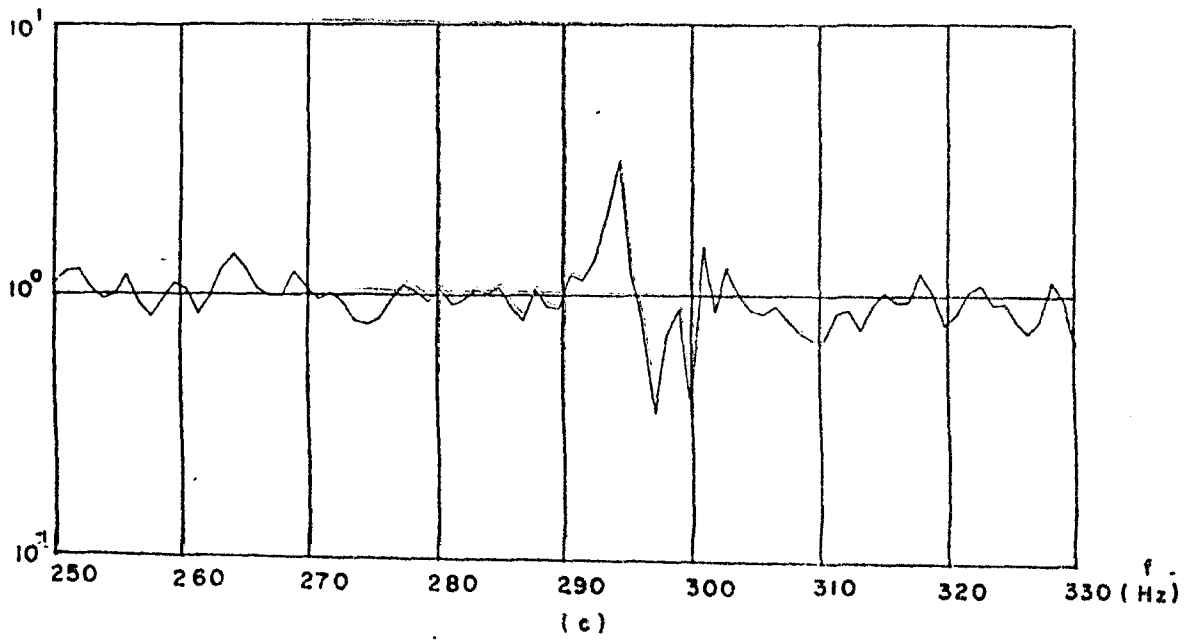
Fig. 5.14 - Teste de sobreposição de picos.
Bloco de 512, Seno I com atenuação de 30 dB e com variação de 4,0 Hz.
a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.



(a)

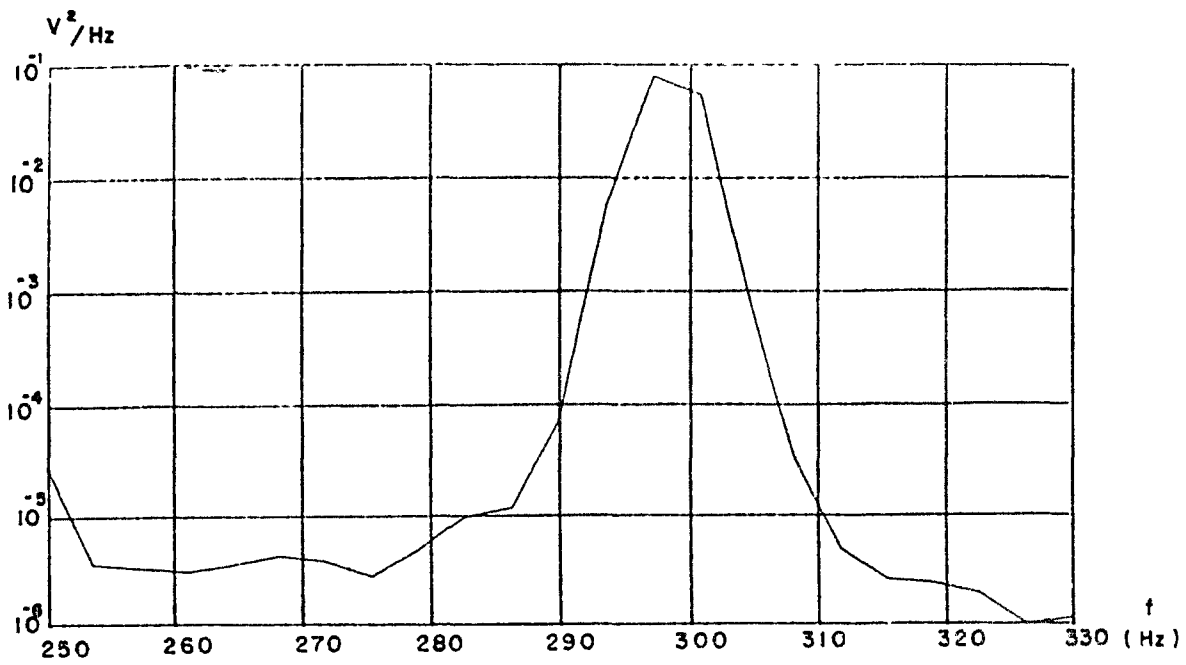


(b)

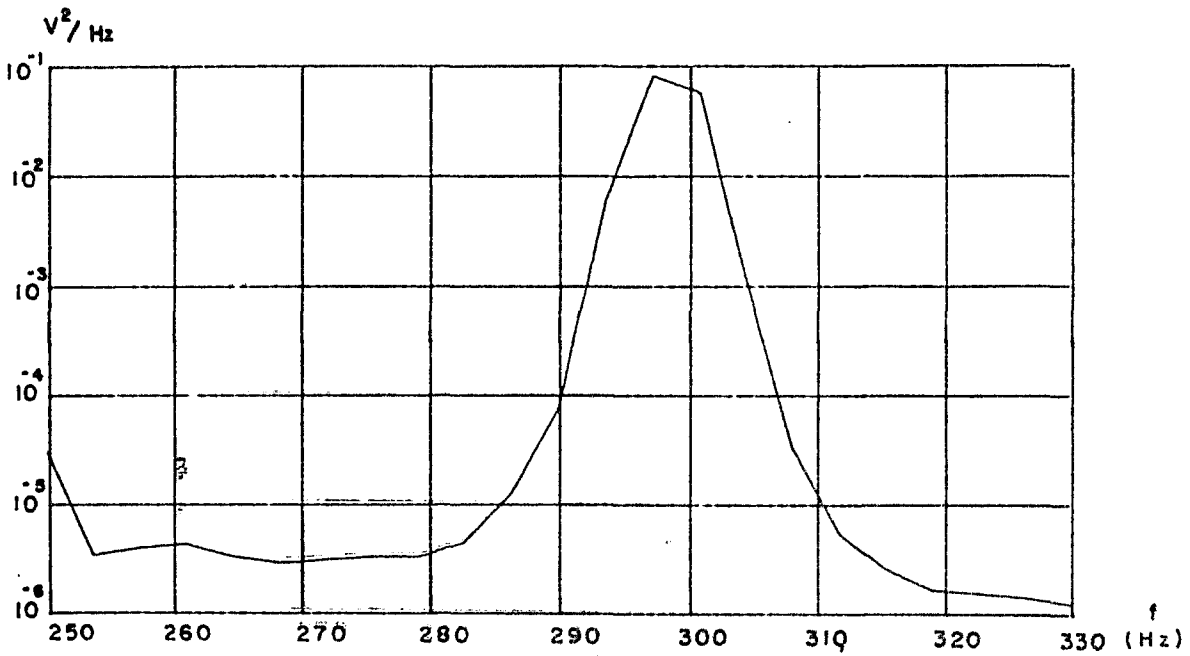


(c)

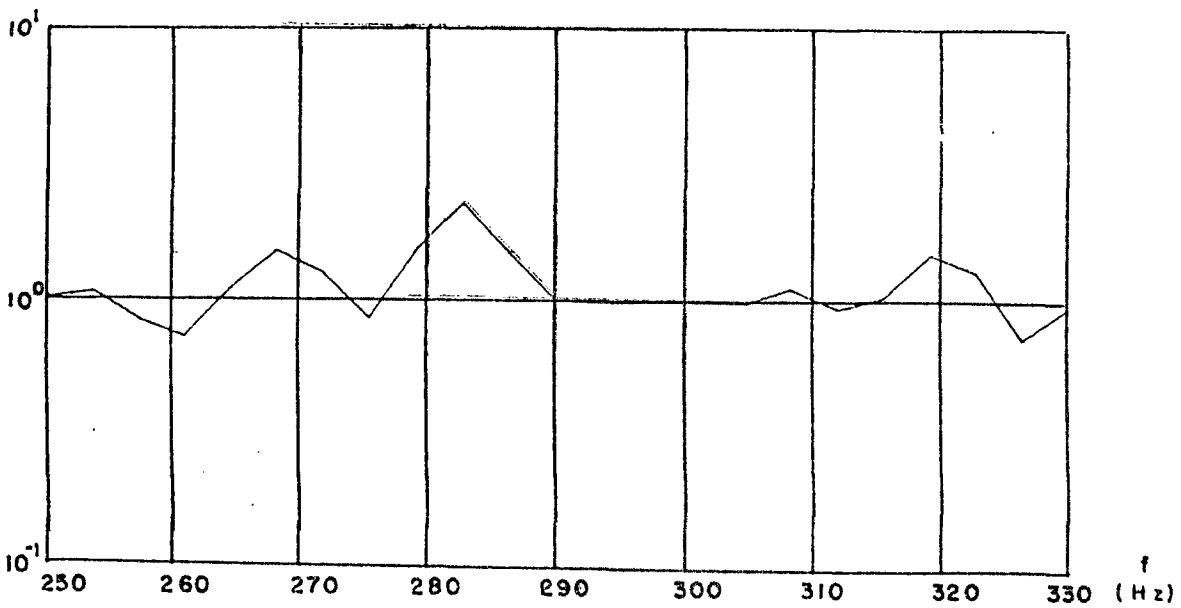
Fig. 5.15 - Teste de sobreposição de picos. Bloco de 1024, Seno I com atenuação de 15 dB e com variação de 0,6 Hz. a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.16 - Teste de sobreposição de picos.
 Bloco de 256, Seno I com atenuação de 45 dB e com variação de 15 Hz.
 a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.

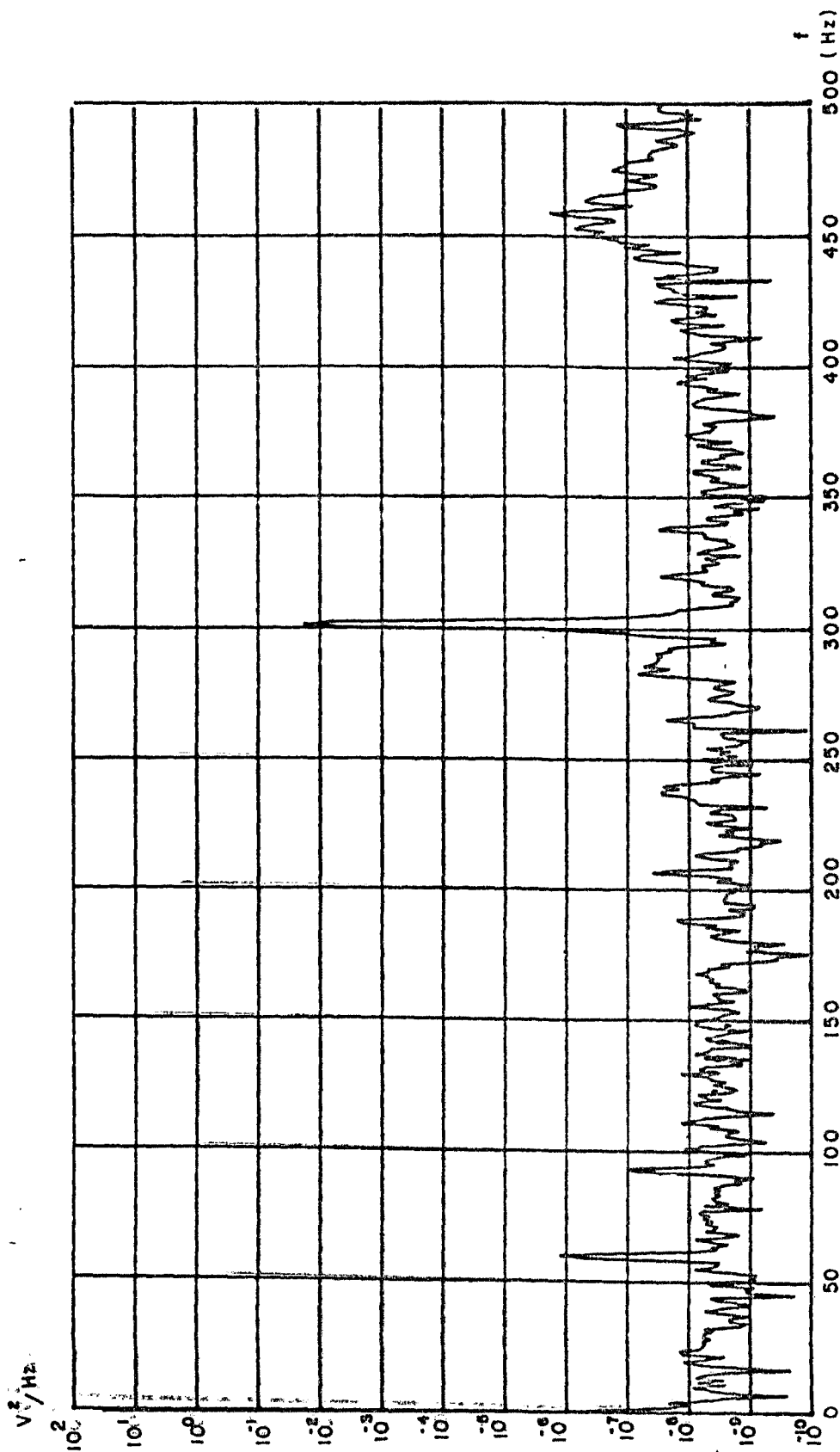


Fig. 5.17 - Espectro obtido para o teste da faixa dinâmica.
 Média de 10 blocos, bloco de 1024, nível DC de 9,7 V e nível AC
 de 0,46 V pp.

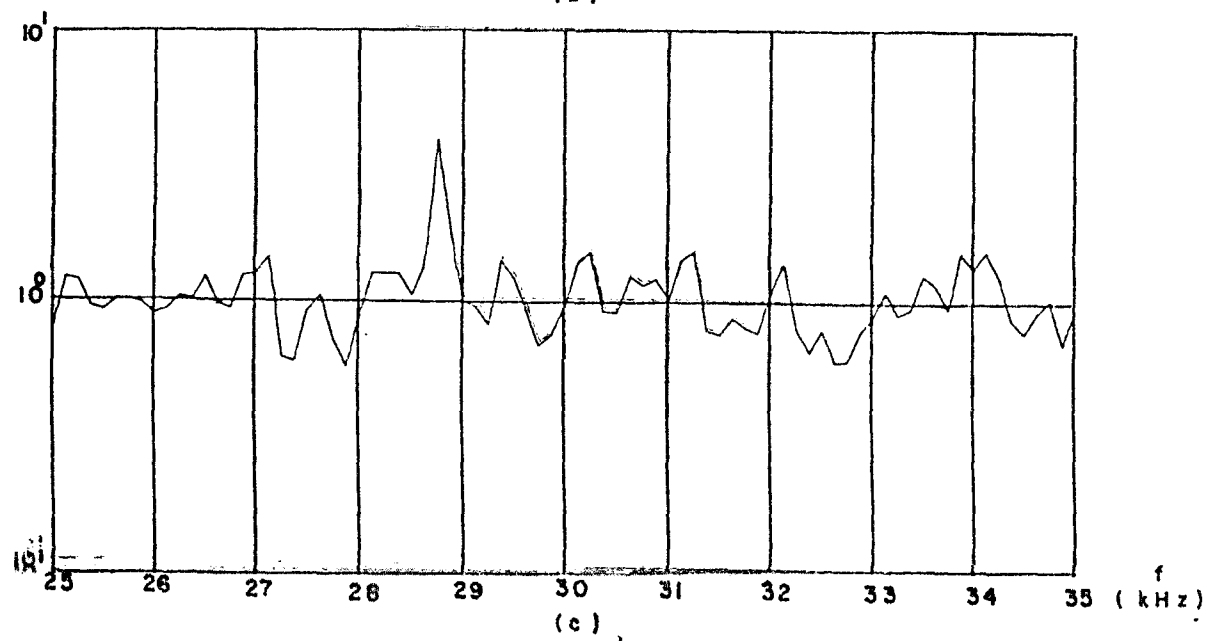
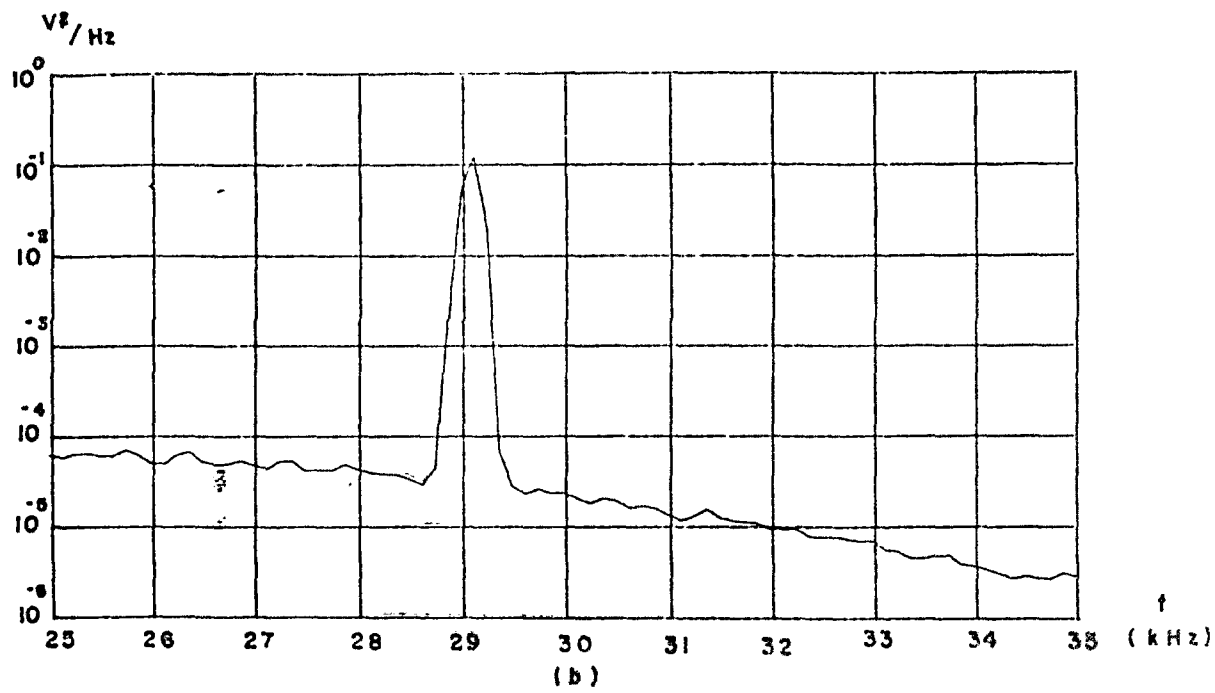
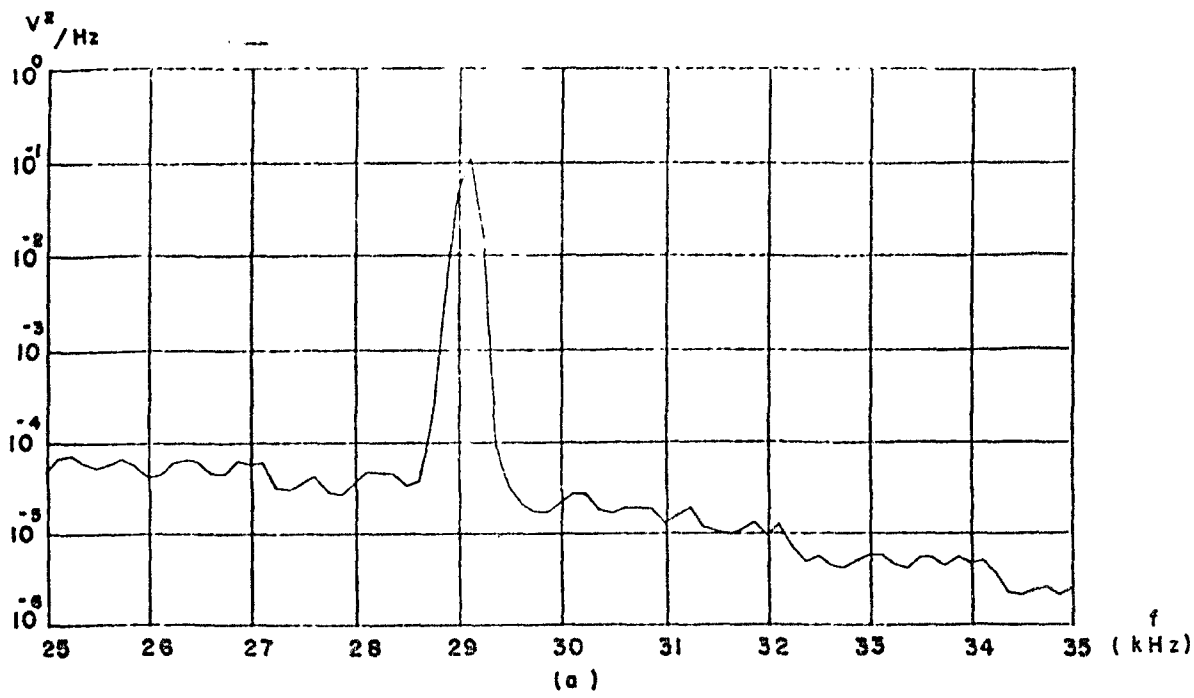


Fig. 5.18 - Teste para alta frequência.

Faixa analisada: (25,35 kHz); frequência de amostragem: 125 kHz; frequência de corte: 30 kHz, bloco de 1024, Seno I com atenuação de 15 dB e variação de 40 Hz.

a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.

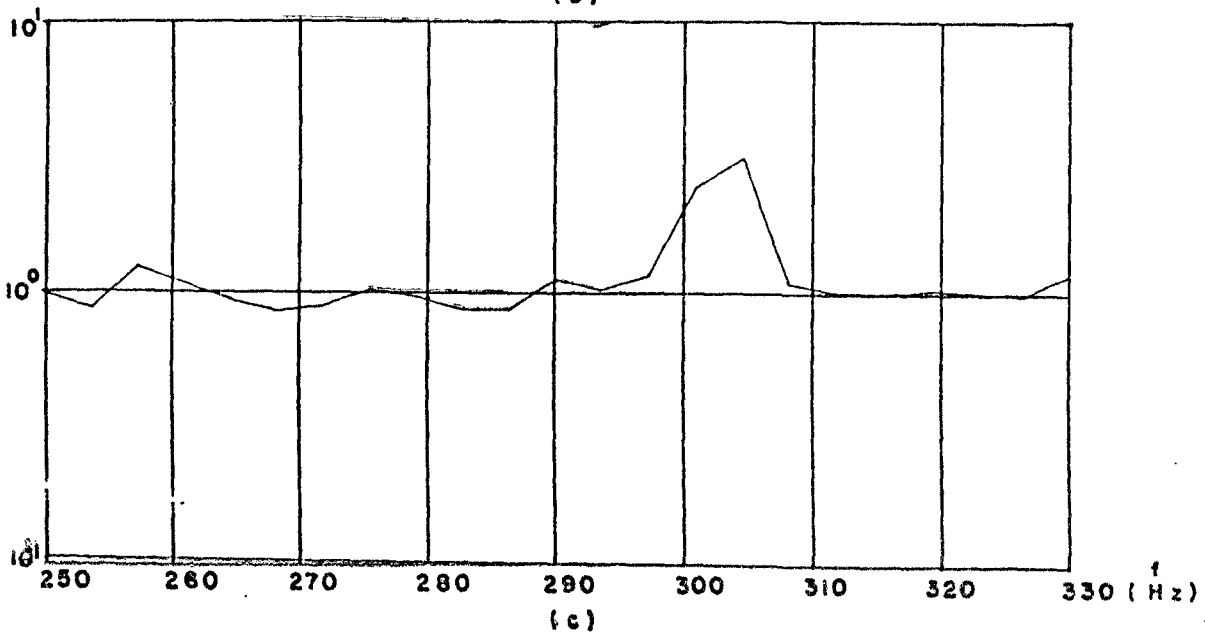
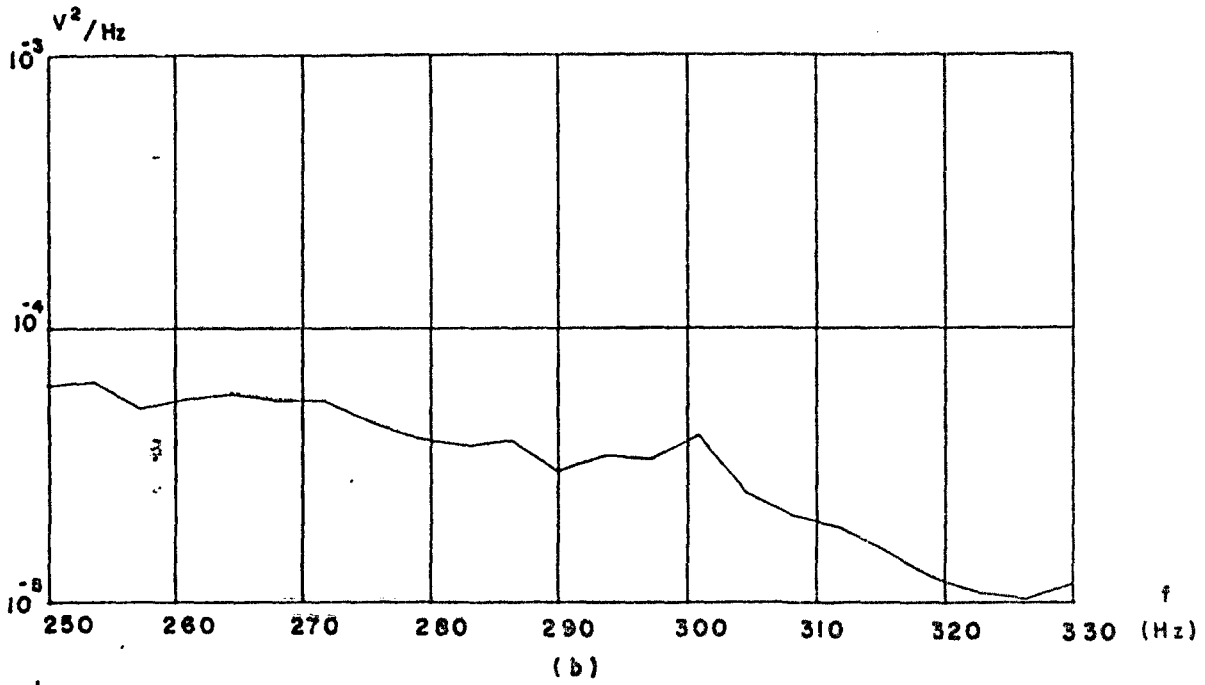
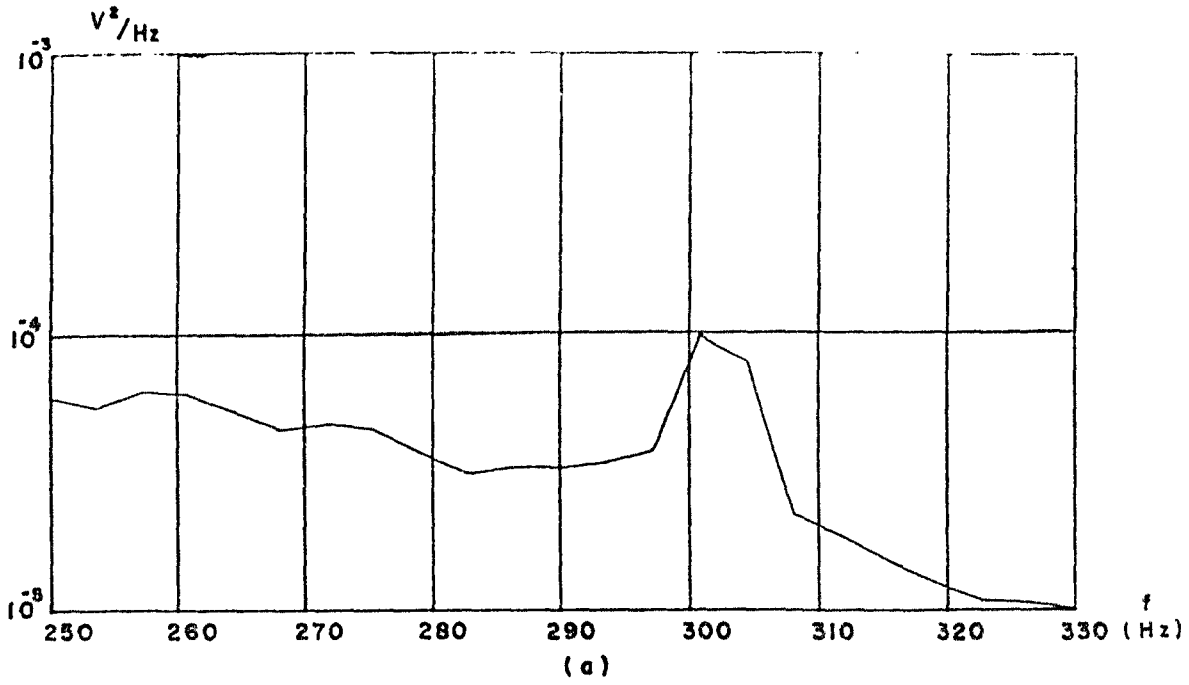


Fig. 5.19 - Teste do aumento de nível dos picos.
 Bloco de 256, Seno II com variação de 8 dB.
 a) PSDT; b) PSDB; c) PSDB/PSDB.

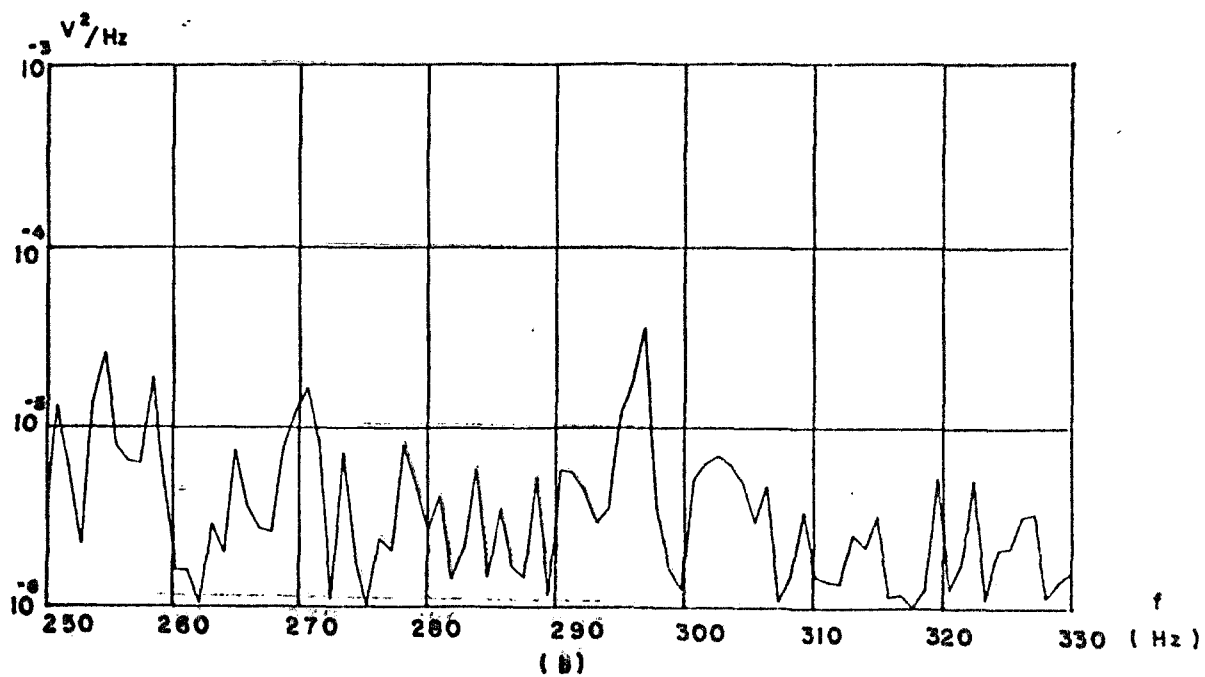
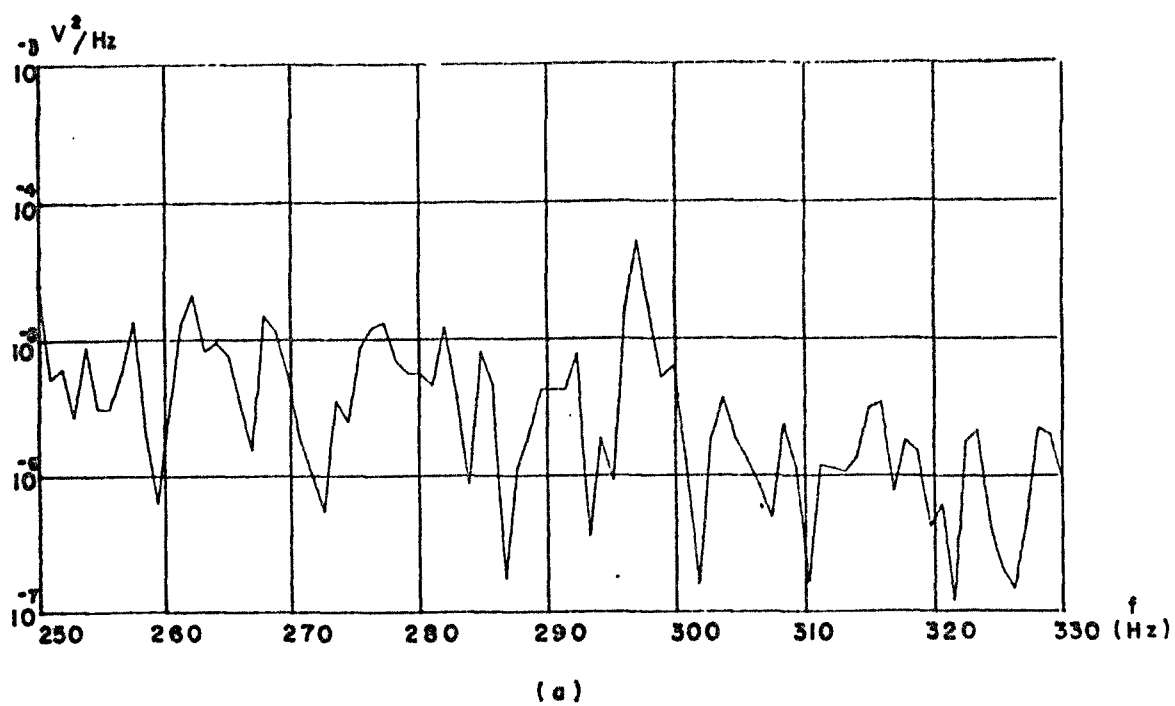
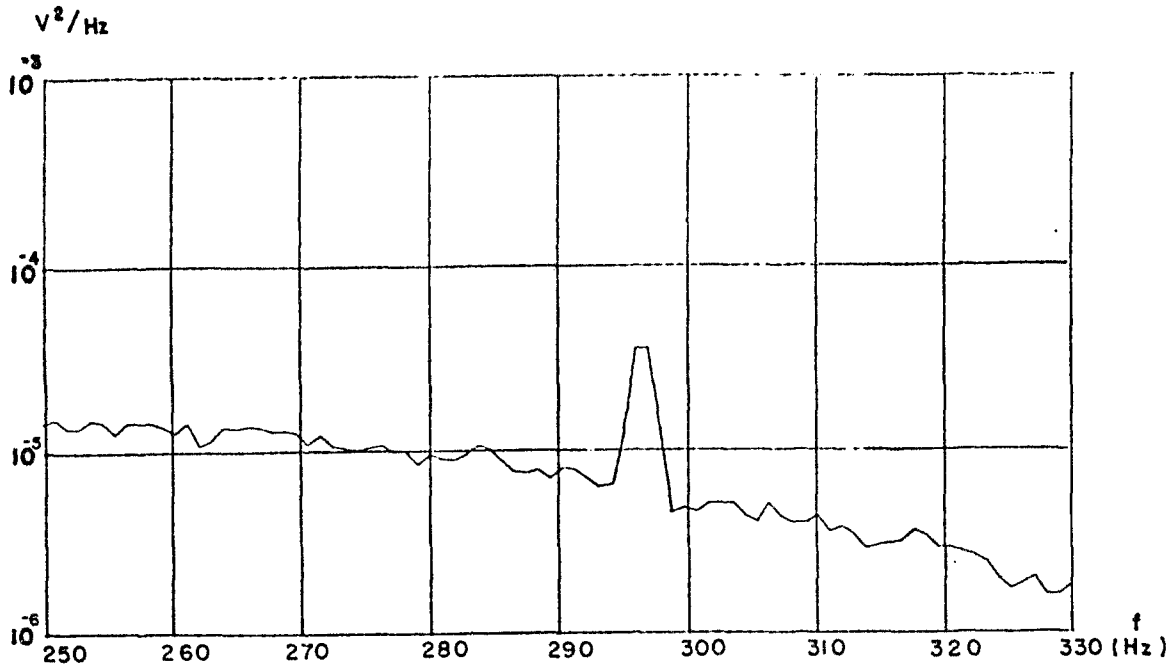


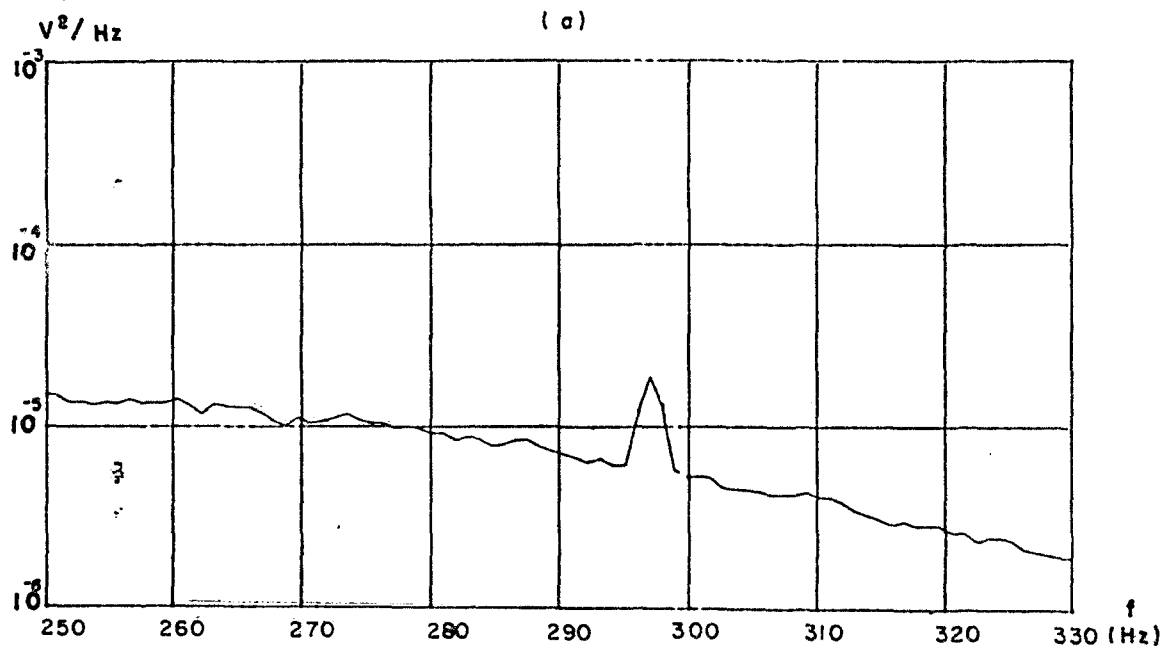
Fig. 5.20 - Teste do número mínimo de blocos.

Bloco de 1024, Seno II com 7 dB.

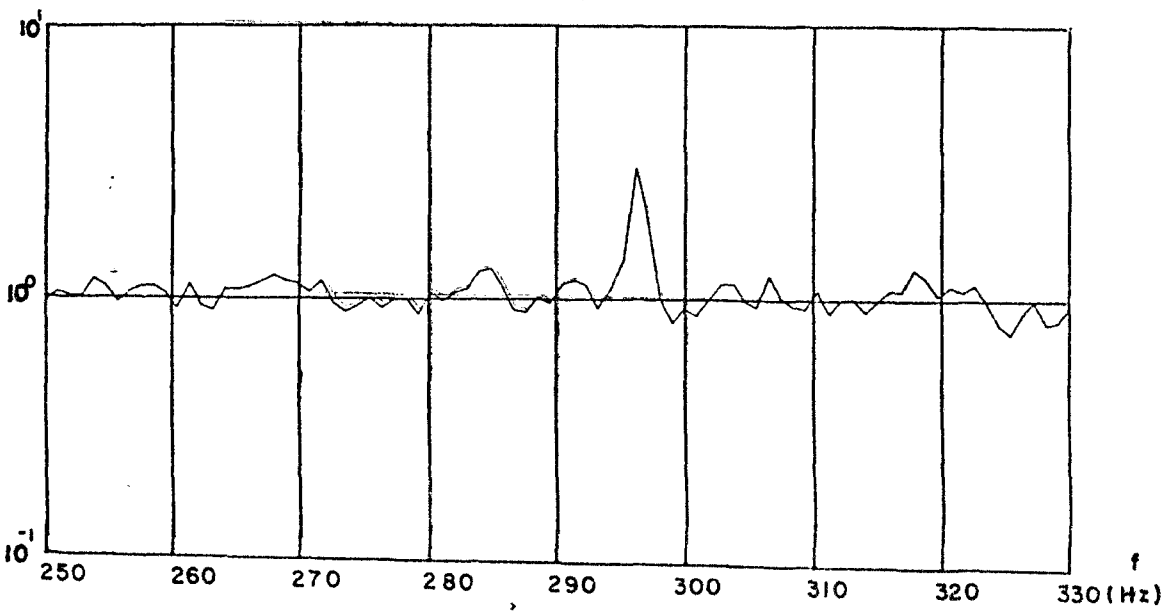
a) média de 2 blocos; b) média de 4 blocos



(a)

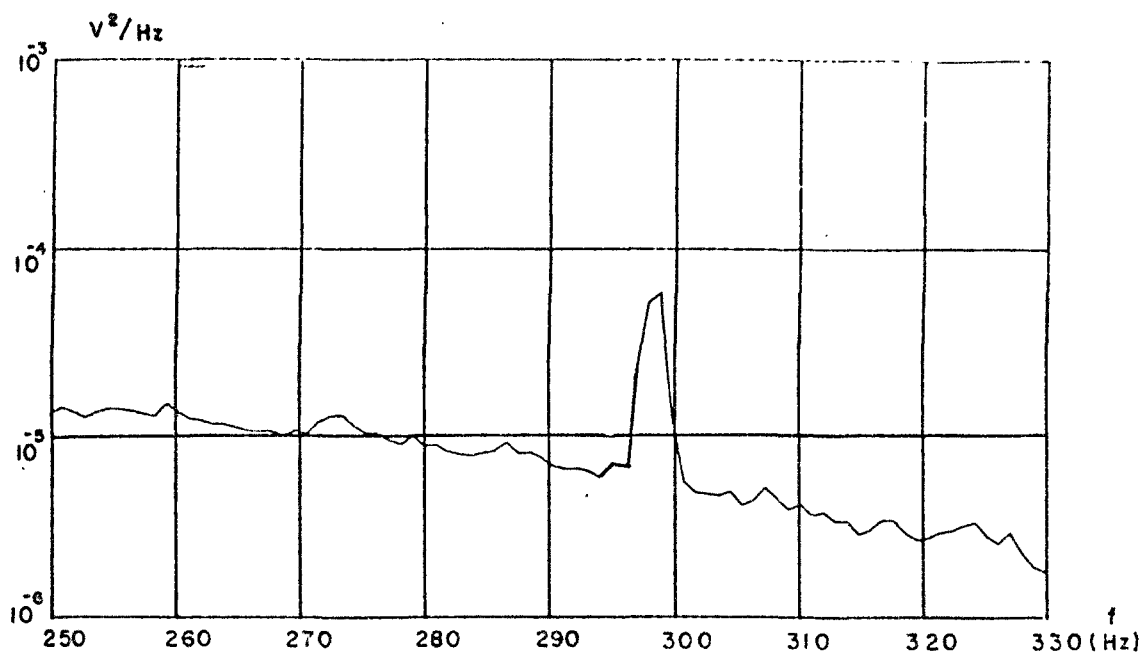


(b)

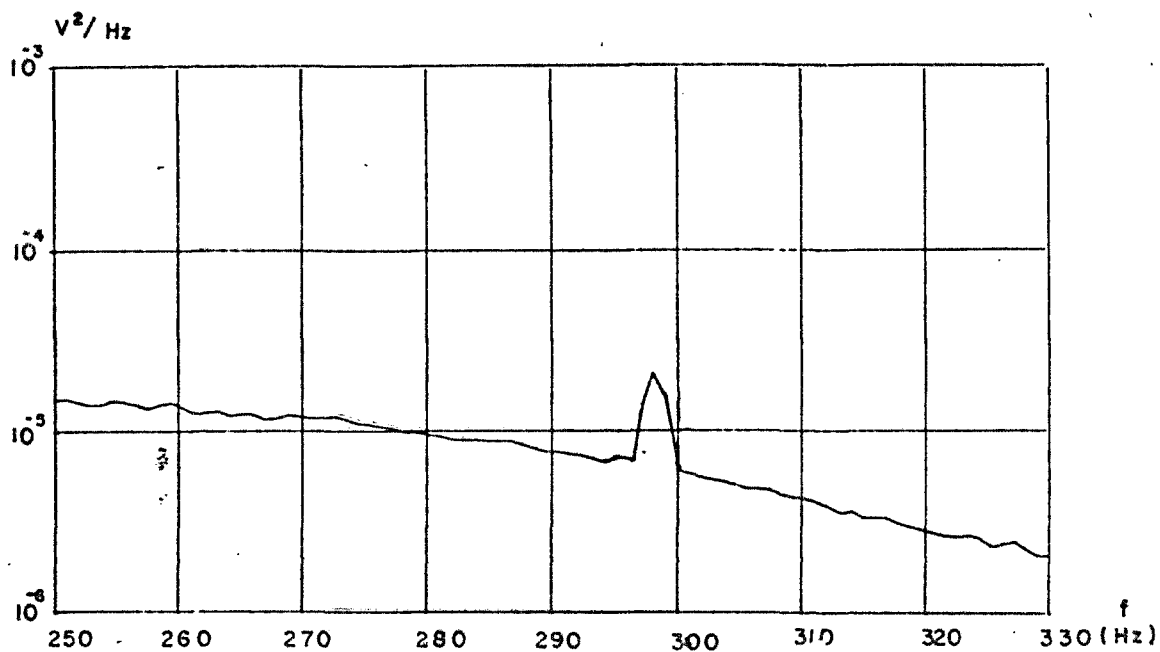


(c)

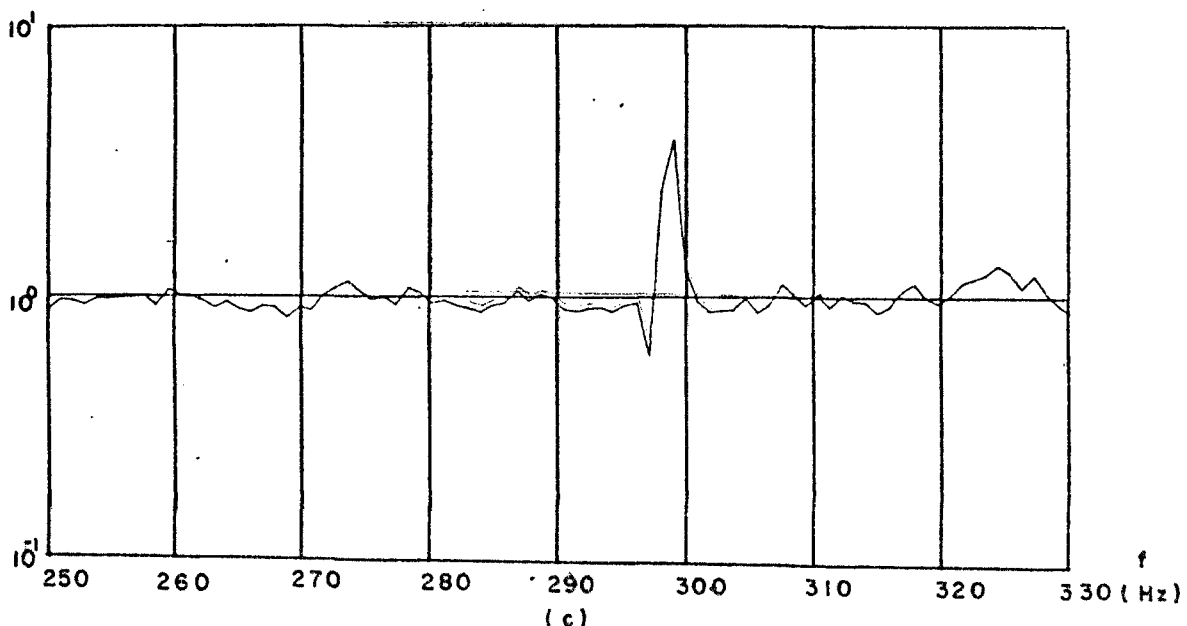
Fig. 5.21 - Teste da variação do número de blocos no espectro base. Bloco de 1024, Seno II com variação de 7 dB. a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.22 - Teste da variação do número de blocos no espectro base. Bloco de 1024, Seno II com variação de 4 dB.
 a) PSDT (20 blocos); b) PSDB (260 blocos); c) PSDT/PSDB.

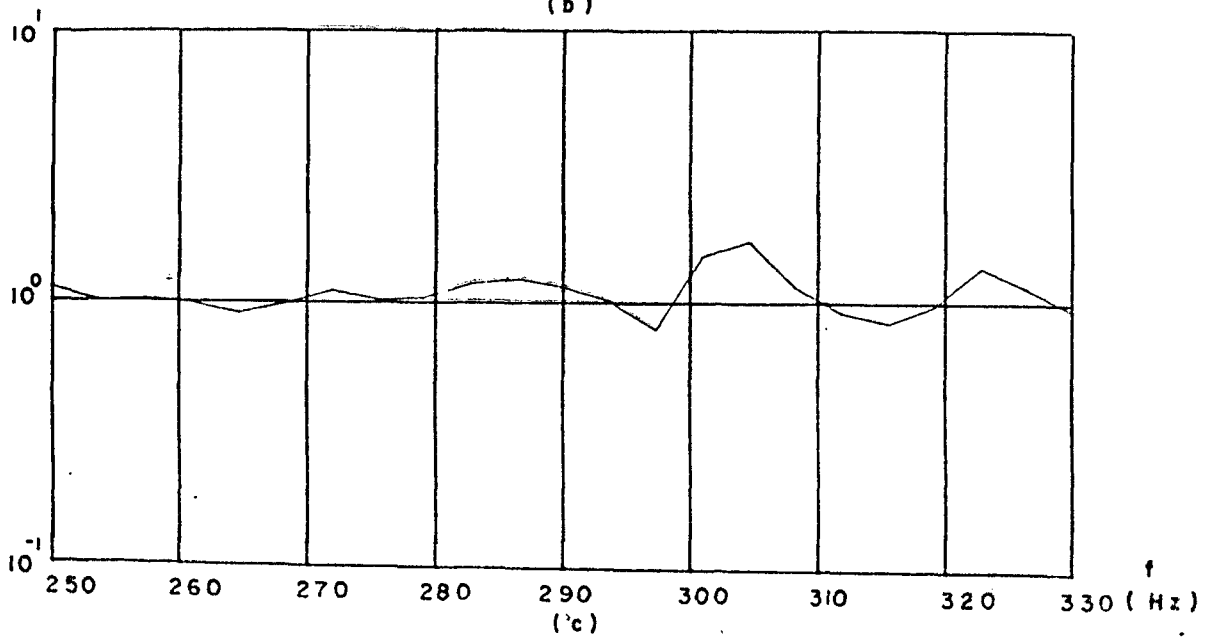
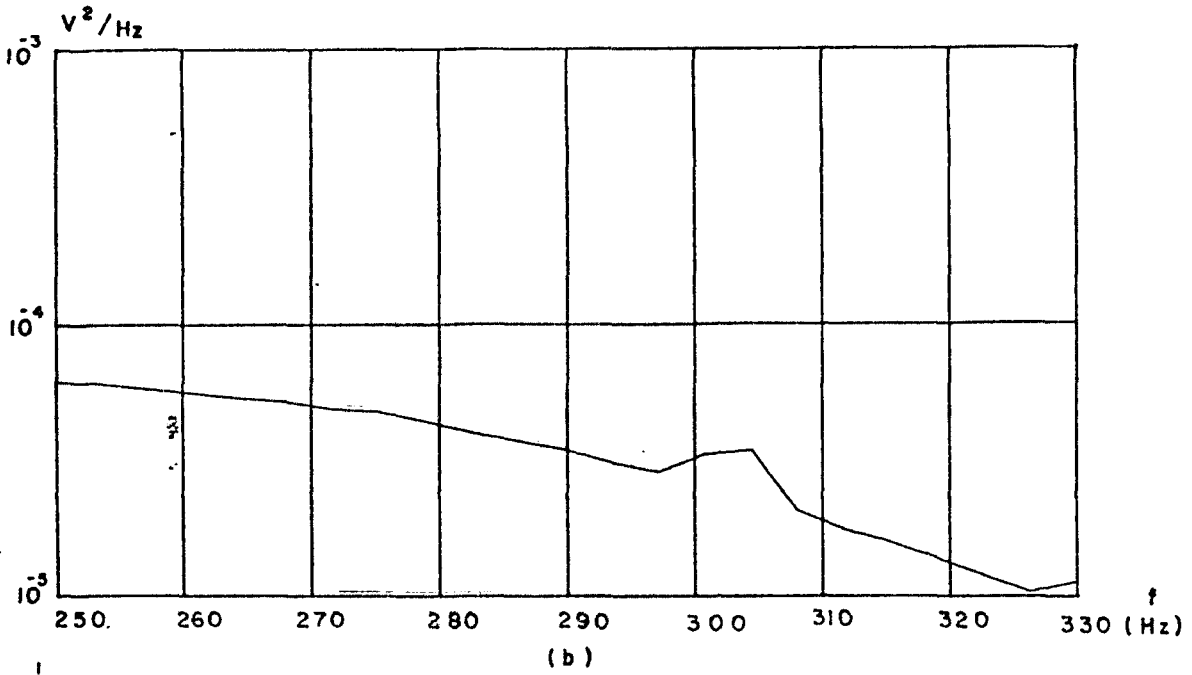
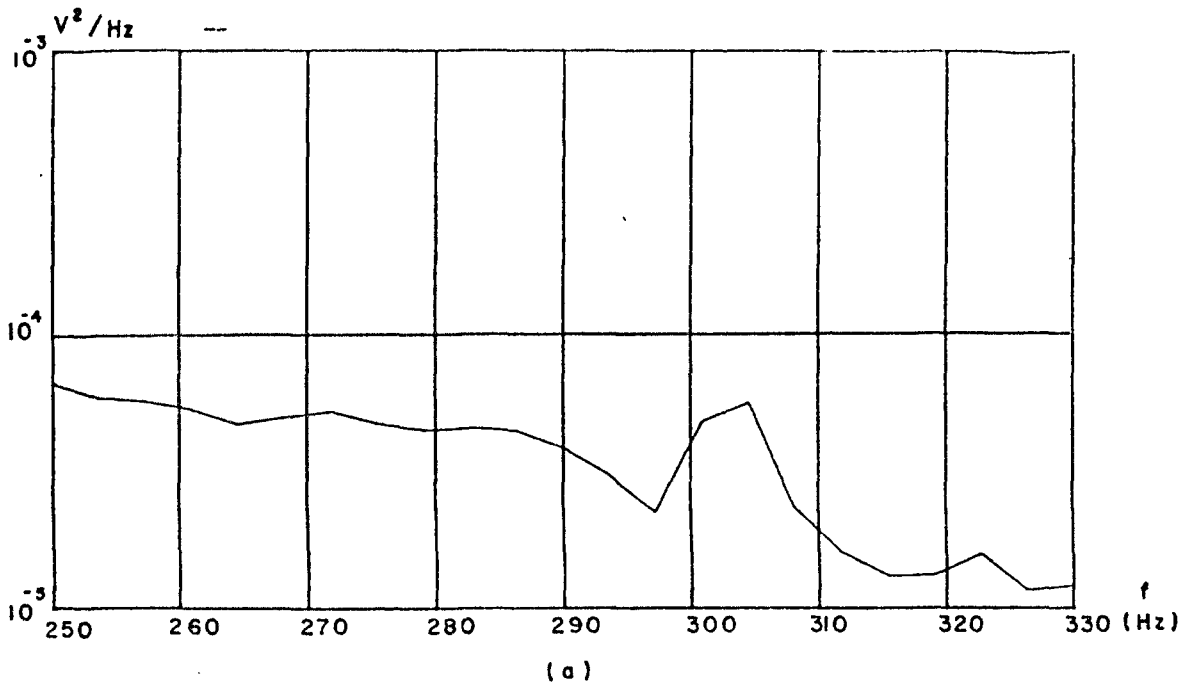


Fig. 5.23 -- Teste da variação do número de blocos no espectro base.

Bloco de 256, Seno II com variação de 5 dB.

a) PSDT (30 blocos); b) PSDB (540 blocos); c) PSDT/PSDB.

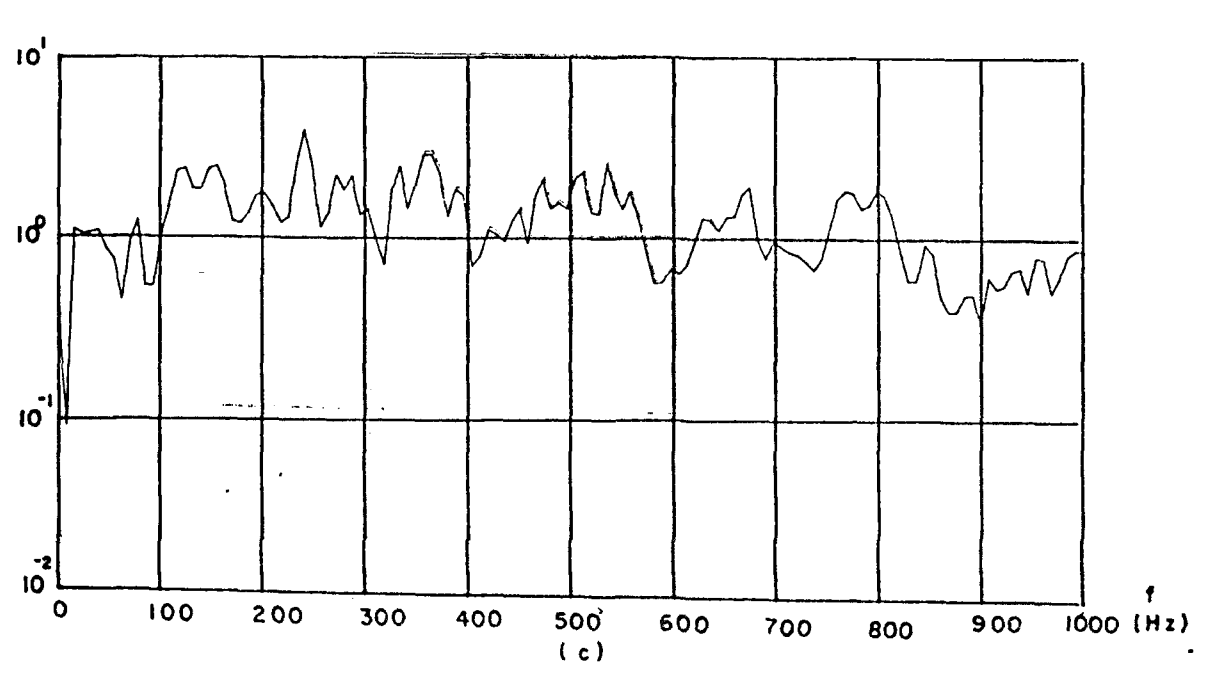
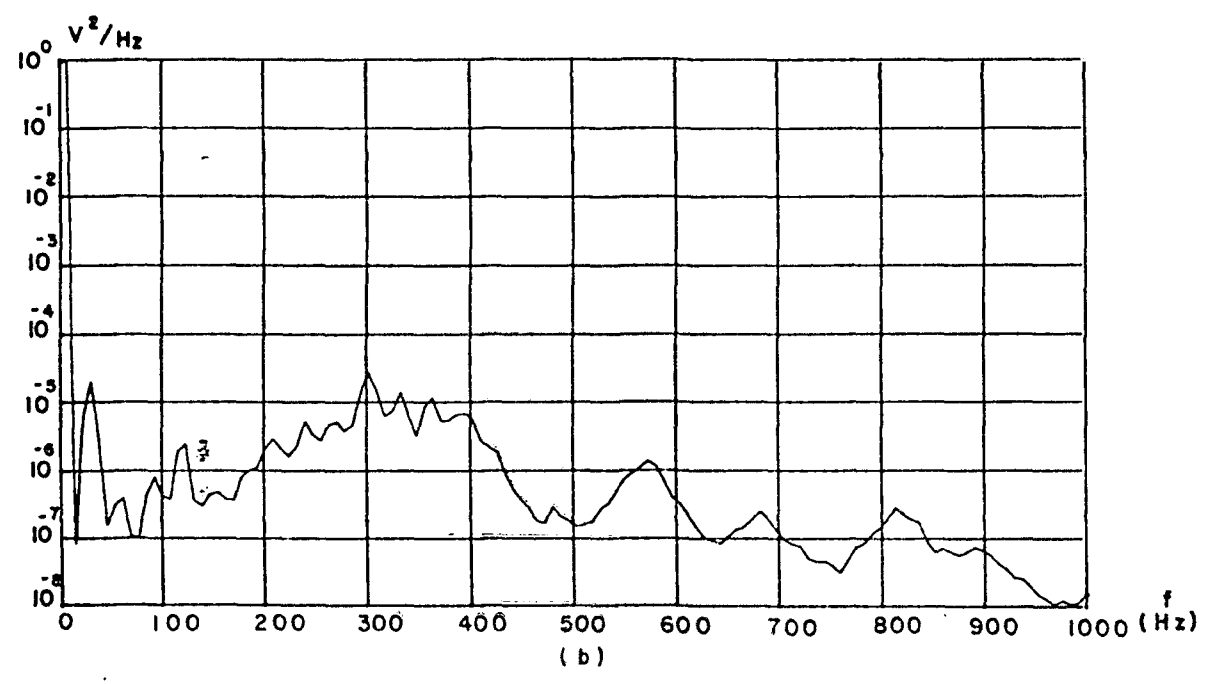
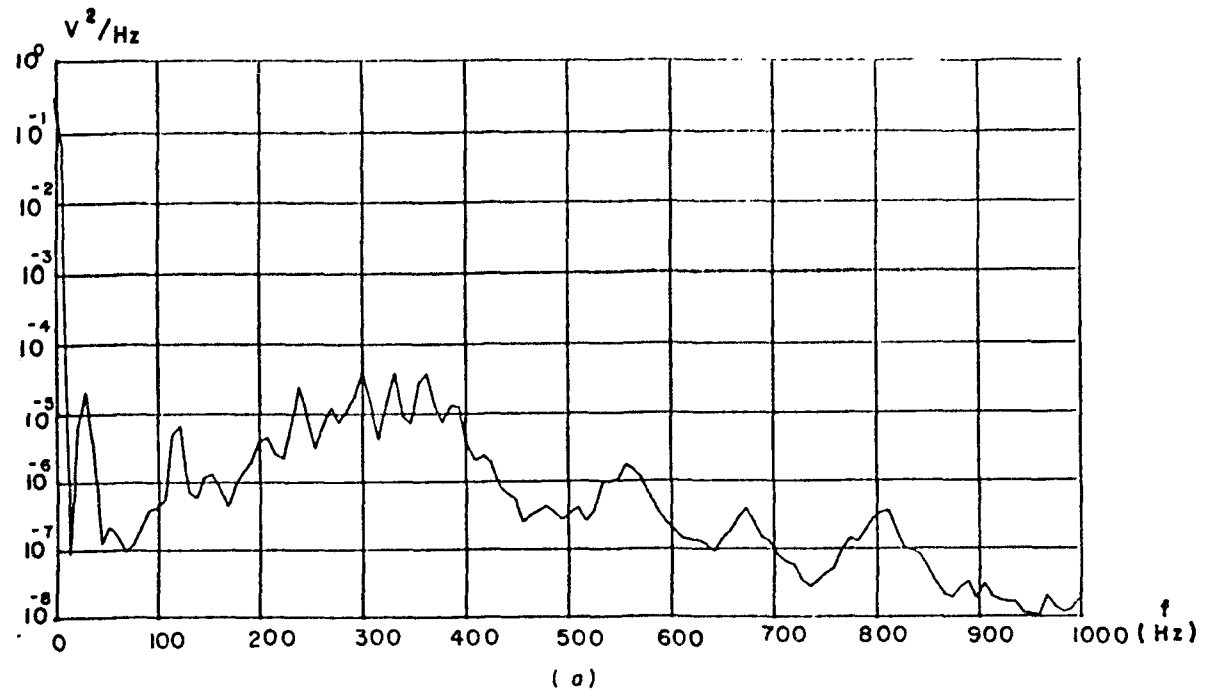


Fig. 5.24.- Teste "real" - comparação entre os trechos 1 e 2.
Faixa analisada: (0,1000 Hz); frequência de corte: 1000 Hz; frequência de amostragem: 4000 Hz; bloco de 512.
a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDB.

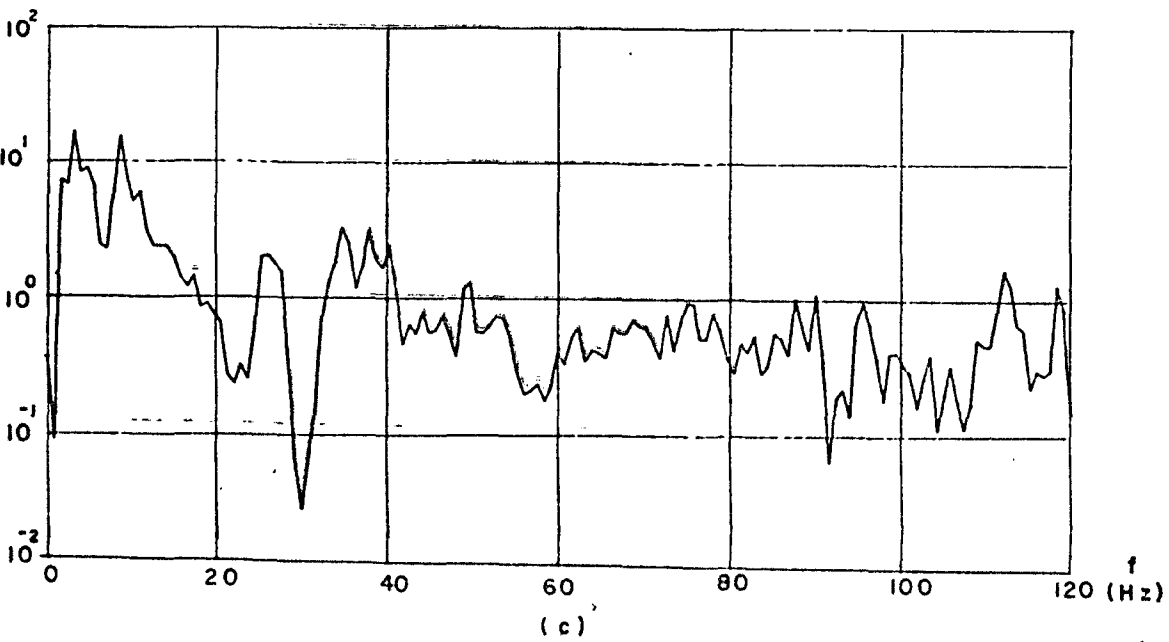
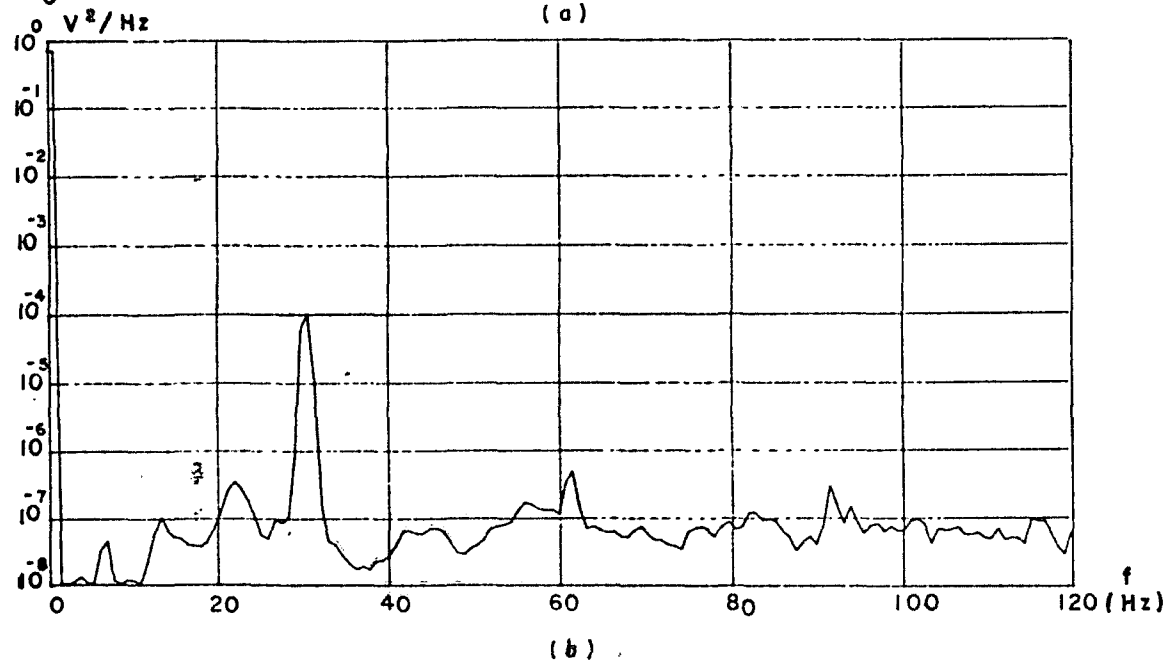
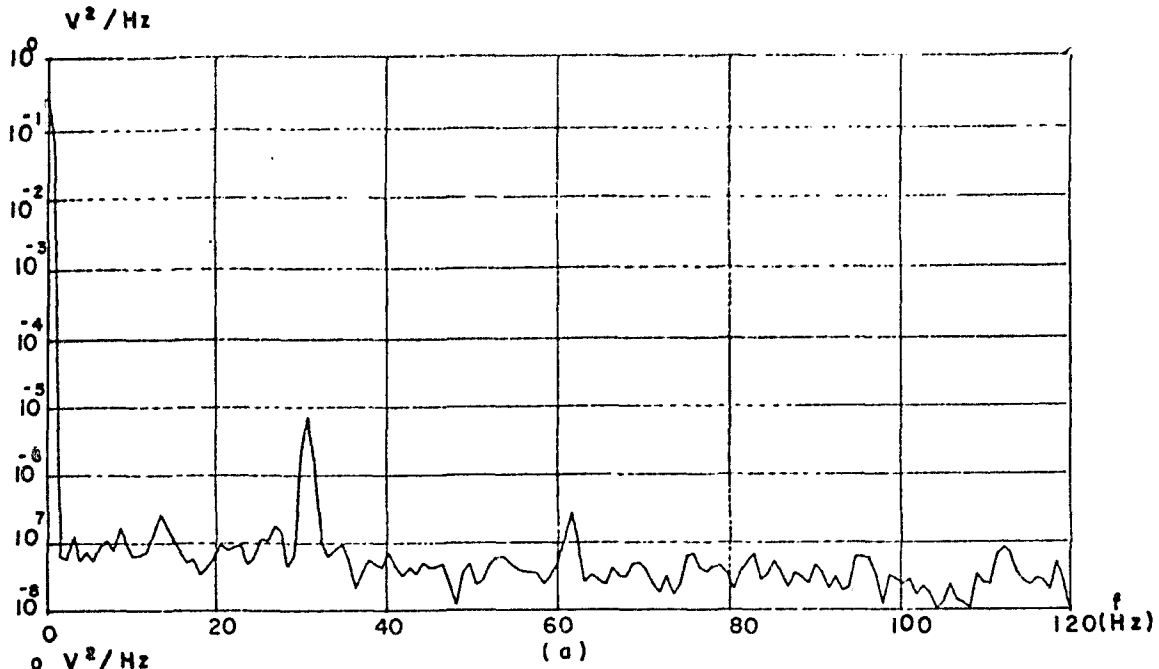


Fig. 5.25 - Teste "real" - comparação entre os trechos 1 e 3.
Faixa analisada: (0,100 Hz); frequência de corte: 100 Hz; frequência de amostragem: 400 Hz; bloco de 512.
a) PSDT (10 blocos); b) PSDB (50 blocos); c) PSDT/PSDB.

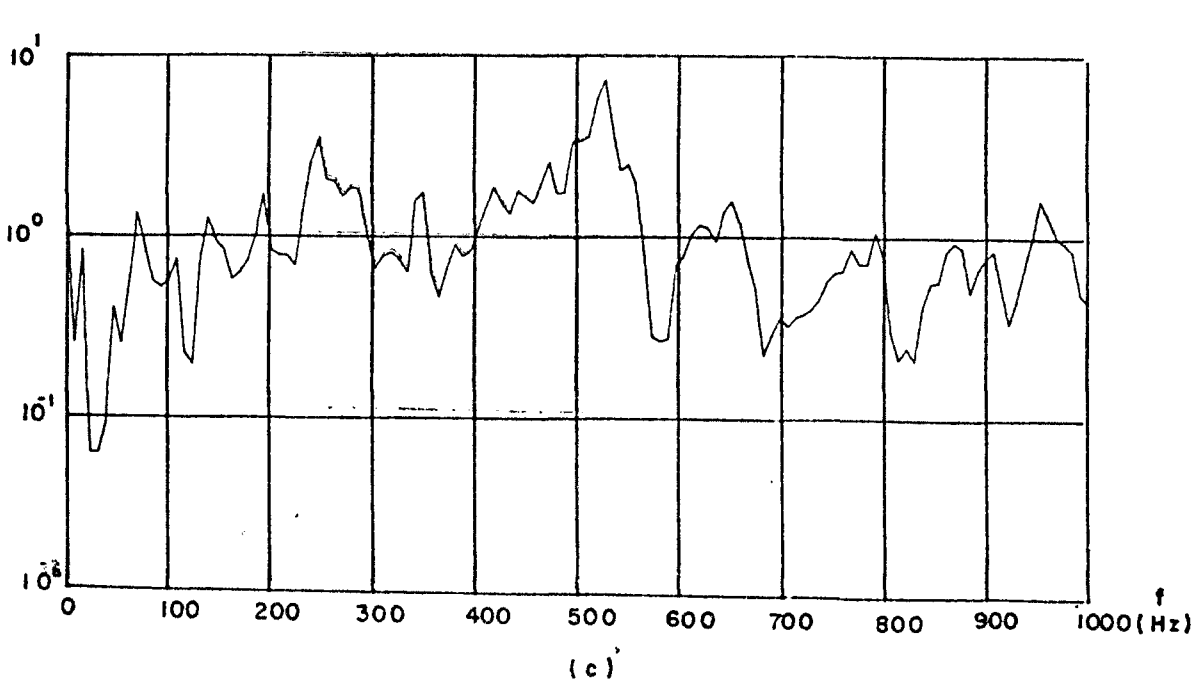
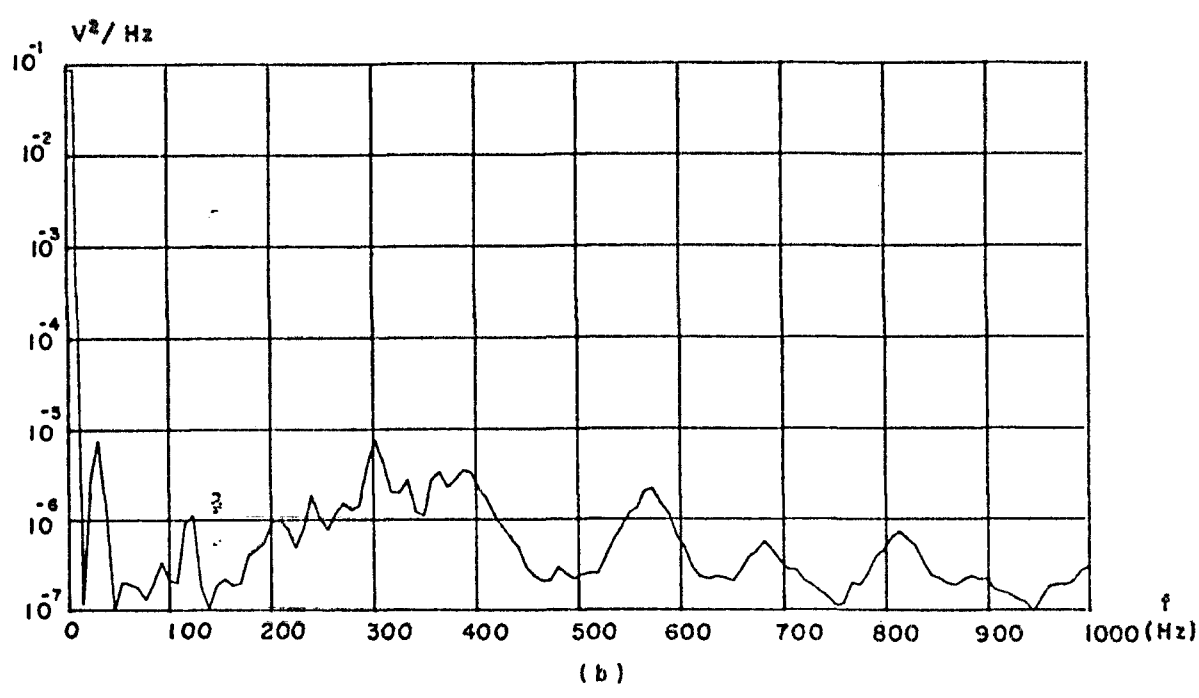
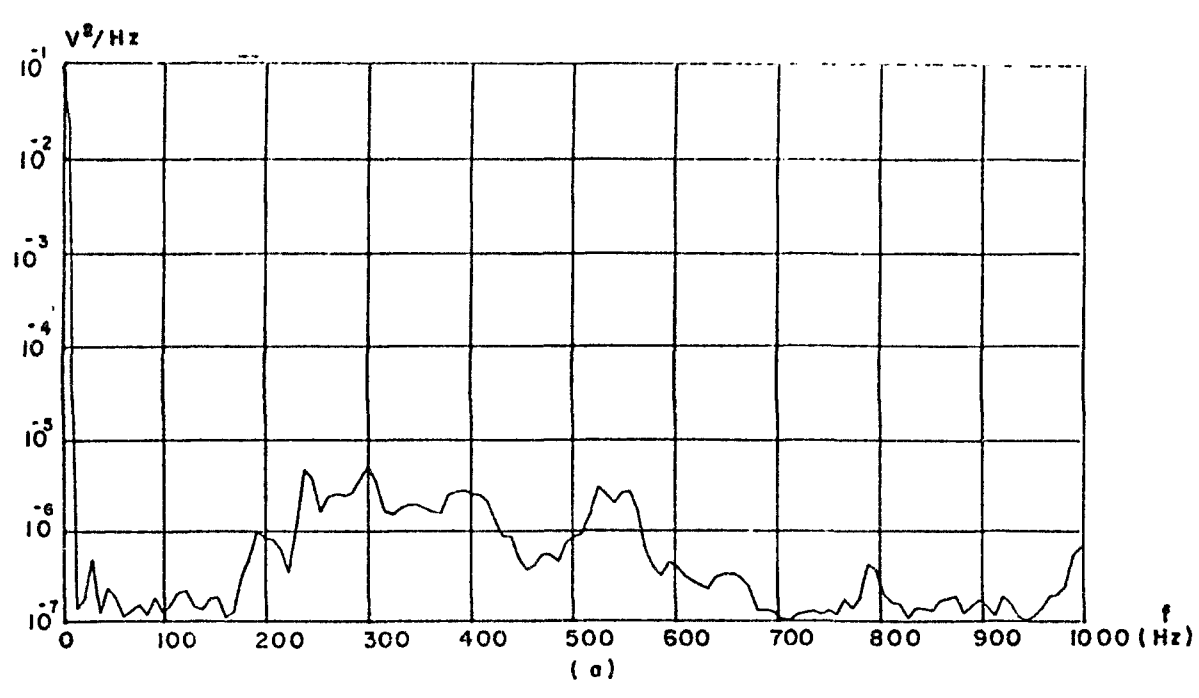
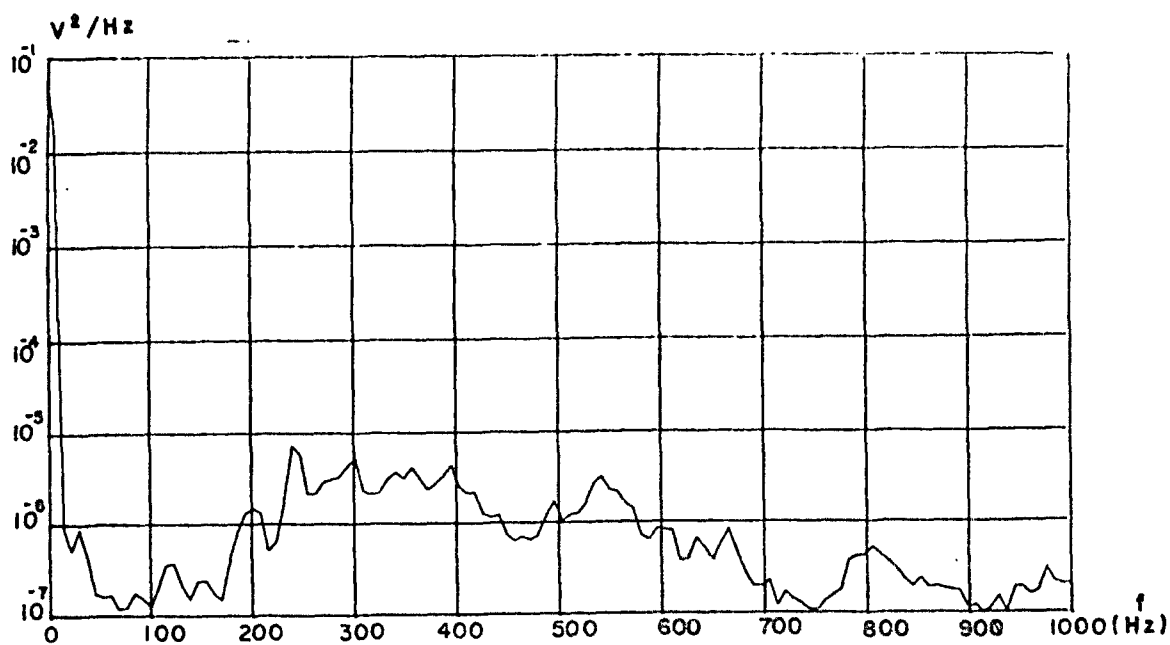


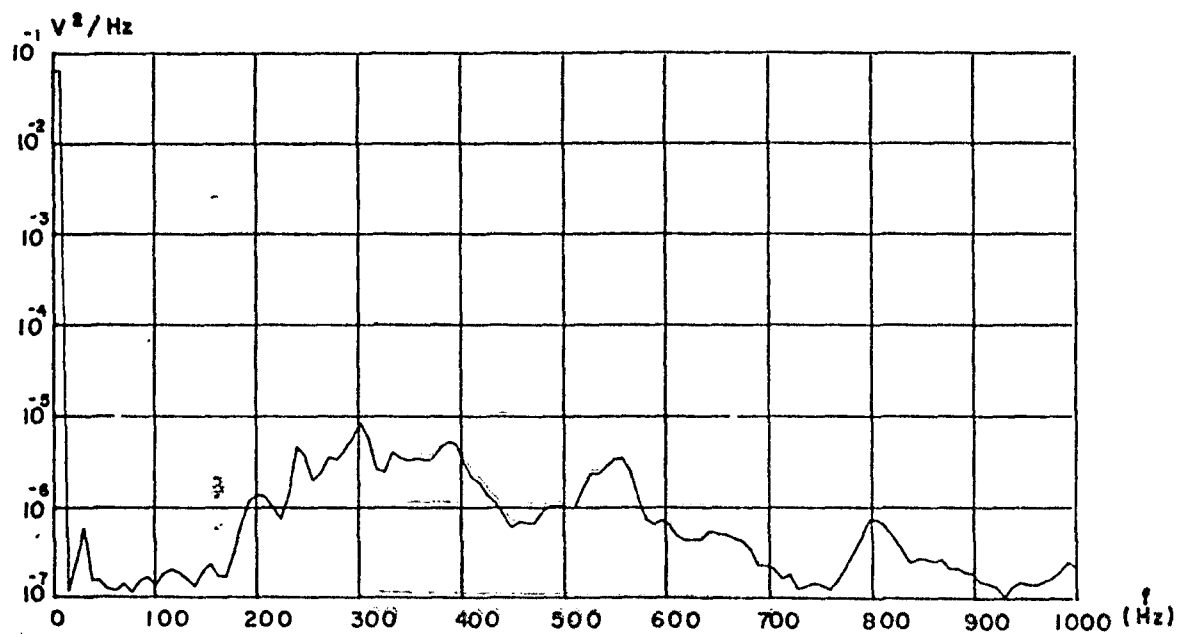
Fig. 5.26 - Teste "real" - comparação entre os trechos 1 e 3.

Faixa analisada: (0, 1000 Hz); frequência de corte: 1000 Hz; frequência de amostragem: 4000 Hz; bloco de 512.

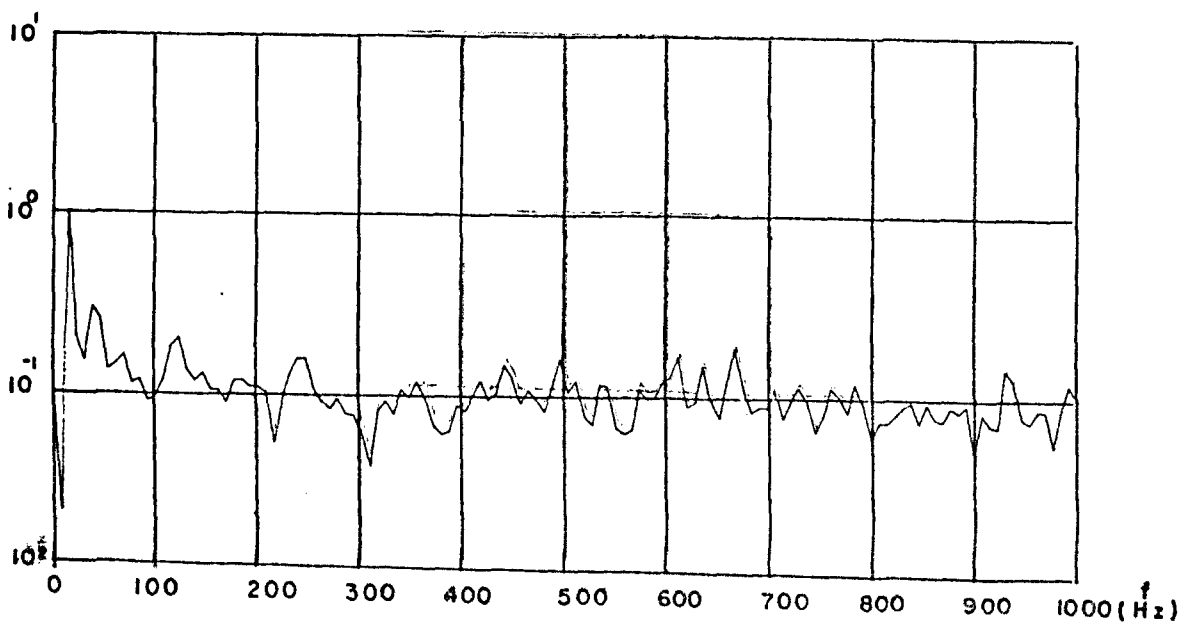
a) PSDT; b) PSDB; c) PSDT/PSDR



(a)



(b)



(c)

Fig. 5.27 - Teste "real" - verificação do trecho 3.

Faixa analisada: (0,1000 Hz); frequência de corte: 1000 Hz; frequência de amostragem: 4000 Hz; bloco de 512.

a) PSDT (20 blocos); b) PSDB (60 blocos); c) PSDT/PSDB.

TABELA 5.12- Sumário de Todos os Testes Feitos com o PSDREC

A) TESTES DE SOBREPOSIÇÃO DE PICOS	Variáveis	Parâmetros	Resultados	Figuras
1) Escolha da faixa de frequências p/análise (descrição -5.2.2) (arranjo exp.-Fig.5.5)	-faixa de anal: [0,500 Hz] e [250,330 Hz]	-Amp(SENO.I)=3V -fSENOI(inicial)-fSENOII=300Hz -fCORTE =300Hz, f _A =1000Hz -Nº de blocos segundo a tabela 5.2 para um bloco de 1024.	Tab.5.3	5.12
2) Sobreposição de picos (descrição - 5.2.3) (arranjo exp. fig.5.5)	-blocos de dados. 256,512 e 1024 -Atenuação de SENOI 0,15, 30 e 45 dB	-Amp.(SENOII)=3V -fSENOI(inicial)-fSENOII=300 Hz -fCORTE=300Hz, f _A =1000Hz -faixa analisada:[250, 300 Hz] -Nº de blocos segundo a tabela 5.2	Tab.5.4	5.13 5.14 5.15 5.16
3) Faixa dinâmica (descrição - 5.2.4) (arranjo exp. fig.5.7)	-	-Amp.(SENOII)=9,7V _{DC} +0,46V _{PP} -fSENOII=300Hz, f _A =1000 Hz -faixa analisada:[0,500 Hz]	Item 5.2.4.1	5.17

.....continua.....

TABELA 5.12- Sumário de Todos os Testes Feitos com o PSDREC (Continuação.....)

A) TESTES DE SOBREPOSIÇÃO DE PICOS (cont..)			
Testes Realizados	Variáveis	Parâmetros	Resultados
4) Percepção de anomalia pelos espectros.. (descrição - 5.2.5) (arranjo exp. fig.5.5)	- mudança na freq. de : SENOI: 0,3 Hz e 0,4Hz	-Amp.(SENOI)=Amp(SENOII)~3V -fSENOI(inicial)~fSENOII~300Hz -fCORTE~300Hz, f _A ~1000Hz -faixa analisada: [250, 330Hz] -Nº de blocos segundo a tabela 5.2, para um bloco de 1024,	Tab.5.6 -
5) Frequência Alta (descrição - 5.2.6) (arranjo exp. fig.5.5)	-	-AMP(SENOI)=-15dB(rel.a 3V) -Amp(SENOII)=0dB(" ") -fSENOI(inicial)~fSENOII~30KHz -faixa analisada. [25, 35 KHz] -fCORTE~30KHz, f _A ~125KHz -Nº de blocos segundo a tabela 5.2, para um bloco de 1024.	Item 5.2.6 5.18
B) TESTES DE AUMENTO DE NÍVEL DE PICOS			
Testes Realizados	Variáveis	Parâmetros	Resultados
1)Aumento de nível dos picos (descrição 5.3.1) (arranjo exp. fig.5.8)	Bloco de dados. 1024 e 256	-Amp(SENOII)(Inicial)=90mV -fSENOII = 300Hz -faixa analisada: [250,330Hz] -fCORTE ~300Hz, f _A ~1000Hz -Nº de blocos segundo a tabela 5.2	Tab.5.7 5.19

.....continua.....

TABELA 5.12- Sumário de Todos os Testes Feitos com o PSDREC (Continuação...)

B) TESTES DE AUMENTO DE NÍVEL DE. PICO _s (continuação...)			
Testes Realizados	Variáveis	Parâmetros	Resultados
2) Número mínimo de blo-	Bloco de dados.	-Amp (SENOII)=7dB(em relação a 90mV)	
cos.	1024 e 256	-fSENOII ~ 300Hz	Tab. 5.8
(descrição 5.3.2)		-faixa analisada: [250, 330Hz]	5.20
(arranjo exp. fig.5.8)		-FCORTE ~ 300Hz, $f_A \sim 1000$ Hz	
3) Variação do número	Bloco de dados:	-Amp (SENOI)(inicial)=90mV	5.21
de blocos no espectro	1024 e (256)	-fSENOII ~ 300 Hz	5.22
base:	Bloco no espec-	-faixa analisada: [250, 330 Hz]	
(descrição. 5.3.3)	tro base:	-FCORTE ~ 300Hz, $f_A \sim 1000$ Hz	Tab. 59
(arranjo exp.-fig.5.8)	100, (120), 140,	-Nº de blocos segundo a tabela 5.2,	5.23
	(150), 260, (270),	com exceção de N ₃ e N _A -tab. 5.9	
	-500, (540)		

...continua.....

TABELA 5.12- Sumário de Todos os Testes Feitos com o PSDREC (Continuação)

C) TESTES NÃO SIMULADOS ("REAIS")			
Testes Realizados	Faixas Analizadas e Valores Usados	Resultados	Figuras
1) Comparação entre os trechos 1 e 2 (descrição -5.4) (arranjo exp. fig.5.11)	-faixa analisada: [0,100Hz], f _A ~400Hz -faixa analisada. [0,1000Hz], f _A ~4000Hz -Nº de blocos segundo a tabela 5.10, para um bloco de 512	Tab.5.11	5.24
2) Comparação entre os trechos 1 e 3 (descrição- 5.4) (arranjo exp. fig.5.11)	-faixa analisada: [0,100Hz], f _A ~ 400Hz -faixa analisada: [0,1000Hz], f _A ~4000Hz -Nº de blocos segundo a tabela 5.10 , para um bloco de 512	Tab.5.11	5.25 5.26
3) Verificação Individual do trecho 3	-faixa analisada: '0,1000Hz', f _A ~4000Hz -Nº de blocos segundo a tabela 5.10, para um bloco de 512, com exceção de N _A e N ₃ (vide 5.4.4)	Item 5.4.4	5.27

6. RESUMO, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.0- Apresentação

Nesse capítulo é dado um resumo de cada capítulo anterior, o que dará uma visão sintética de todo o trabalho feito. Em seguida trata-se das conclusões propriamente ditas. Inicialmente declaramos que os objetivos propostos no capítulo 1 foram satisfeitos. Deve-se insistir novamente na importância futura desse trabalho nas análises de gravações de ruído neutrônico existentes e as futuras a serem feitas (análise "off-line"). Como também já foi mencionado no capítulo 4, poder-se-á aplicar esse programa a análises tipo "on-line" desde que se façam pequenas modificações.

Além da aplicação em ruídos de reatores, intenção inicial desse programa, pode-se aplicá-lo em outras áreas de interesse como na monitoração de vibrações (capítulo 5). O programa mostrou nesses testes que qualquer sinal estocástico e estacionário, que esteja dentro dos níveis e faixas de frequências aceitáveis pelo ADF-11 poderá ser analisado.

6.1- Resumo do Trabalho Realizado

6.1.1 - Capítulo 1

A análise de ruídos em reatores foi incentivada inicialmente para uso direto na segurança dos mesmos.

A evolução da técnica mostrou que há três áreas de aplicação nos reatores nucleares:

(a) manutenção - onde é uma extensão dos programas de controle de qualidade, ajudando a antever falhas nos equipamentos;

- (b) no controle dos reatores - onde seria usada na detecção de efeitos locais informando então os sistemas de controle;
- (c) na verificação dos modelos usados nos projetos.

Basicamente existem dois métodos de análise de ruídos: os analógicos e os digitais. Apesar dos analógicos terem aplicação à monitoração de intervalos Δf estreitos, os métodos digitais se mostram capazes de análises mais rápidas, principalmente devido à introdução do algoritmo FFT.

Nesse trabalho mostra-se a implantação do programa PSDREC no IPEN, que será usado para automatizar as análises de ruídos e estudar o problema da quantificação das anomalias em reatores nucleares.

O programa PSDREC usa técnicas de reconhecimento de padrões e tem sua aplicação restrita a sinais estocásticos e estacionários que tenham distribuição de amplitude gaussiana. Essa restrição na aplicação traz vantagens à performance do programa tais como: maior capacidade de detectar anomalias, através do uso de vários testes estatísticos; todas as frequências de um espectro podem ser examinadas; identificação mais direta das mudanças espectrais.

6.1.2 - Capítulo 2

Quando a transformada de Fourier é tomada para um sinal $x(t)$ amostrado entre o instante 0 e o instante T, cuja maior frequência presente seja F_{MAX} , resulta na Transformada Discreta de Fourier (TDF).

Para o cálculo da TDF usa-se o algoritmo FFT. Com isso obtém-se a redução do número de operações de N^2 para $2N \cdot \log_2 N$, sendo N o número de amostras tomadas de $x(t)$:

A partir da TDF chega-se à DEP, que é a ferramenta principal usada pelo programa para o reconhecimento de anomalias. A própria definição da DEP (valor médio quadrático de um sinal amostra para a faixa de frequências compreendida entre f e $f + \Delta f$) é um meio de se obter a DEP, porém para métodos digitais o meio mais conveniente é utilizar o produto da TDF calculada, pelo seu complexo conjugado. A DEP assim obtida é uma estimativa da DEP do sinal.

Na análise de sinais pelo programa PSDREC estes são filtrados e tem, opcionalmente, uma janela tipo Hanning aplicada a si.

A filtragem evita a presença de frequências superiores a F_{MAX} , evitando a distorção de espectros por sobreposição. A janela "Hanning" reduz o efeito de fugas espectrais, observado quando um pico cai entre duas componentes discretas, degradando um pouco a resolução e aumentando a faixa dinâmica.

Existem duas fases distintas durante a execução do programa:

- (1) aprendizado - que é do tipo supervisionado, e onde são aprendidas as características do sinal que se quer monitorar;
- (2) monitoramento - onde são atualizados os critérios para aceitação de espectros e se passa a monitorar com base no que se aprendeu na primeira fase.

São empregados em todas as análises três tipos de espectros: PSDZ, PSDT e PSDB. O PSDZ é espectro que reflete o comportamento instantâneo do sistema monitorado; o PSDT contém o espectro representativo do período de operação mais recente e o PSDB é o espectro básico formado no período de aprendizado e nunca é modificado.

O programa usa oito discriminadores estatísticos,

com os quais se analisa o logarítmo da razão das componentes de dois espectros (por exemplo, PSDZ/PSDT, PSDT/PSDT * ou PSDT/PSDB). Esses discriminadores podem ser divididos em dois grupos: testes paramétricos (D_I , D_{II} , D_{III} , D_{IV} e D_V) e testes globais quanto à mudança de forma dos espectros (D_{VI} , D_{VII} e D_{VIII}).

Os testes paramétricos se baseiam na hipótese das componentes reais e imaginárias da TDF, terem distribuição gaussiana. Os testes globais são compostos dos testes de seqüência e teste do sinal.

Durante o aprendizado é feita a atualização de todos os critérios de aceitação dos discriminadores e das médias e variâncias teóricas das distribuições.

6.1.3 - Capítulo 3

O programa recebido de ORNL foi desenvolvido para um PDP 11/20, sistema operacional RT-11, com 28 kW de memória livres para programação e 32 kW totais.

Foi usada uma estrutura "overlay" com um segmento residente e 6 segmentos "overlay" que são carregados na memória quando o programa os chama.

O programa mantém dois arquivos em disco. Um deles é chamado PARMS.DAT e armazena os parâmetros de controle do programa. O outro é PSD.DAT que armazena os espectros de tendência e básico.

Nesse programa original, devido ao fato do sistema permitir um acesso direto à página de entrada e saída, o operador pode a qualquer momento, interromper o funcionamento normal do programa.

O programa utiliza duas regiões comuns, a todos os segmentos em memória, chamadas ARRAYS e CNTROL. A primeira contém variáveis indexadas para o armazenamento de

PSDZ e PSDT. A segunda contém as variáveis de controle de programa e duas variáveis indexadas (WORK e XTR) para uso geral como: armazenamento de dados amostrados e espectros calculados.

6.1.4 - Capítulo 4

Para a utilização do PSDREC no IPEN eram necessárias algumas modificações no original, devidas aos seguintes fatores:

- (1) os sistemas operacionais de ORNL(RT-11) e do IPEN (RSX11M) são diferentes;
- (2) conversores analógico-digitais diferentes;
- (3) no IPEN não se dispõe de unidade graficadora;
- (4) no IPEN a memória disponível é de 22 kW e o programa necessita de 26,7 kW.

No sistema RSX11M interagem três fatores:

- (1) o executivo, que é o "cérebro" do sistema;
- (2) os programas, que são seqüências de instruções para o executivo interpretar e cumprir;
- (3) a memória, que é o meio físico para armazenamento e execução de programas.

O sistema operacional do IPEN é mapeado, possuindo 22 kW livres para programação.

Os principais problemas, surgiram com as rotinas escritas em Assembler (MACRO-11). Estas continham instruções desnecessárias para sua execução no IPEN. No caso da rotina de controle do CAD foi preciso instalar uma nova rotina adequada ao CAD do IPEN. Até 15 kHz, de frequência de amostragem, aceita-se "clock" externo, enquanto que acima disso até 125 kHz (no máximo) o "clock" é interno e fixo em 125 kHz.

Para que o programa coubesse na memória disponível,

foram feitas três modificações principais:

- (1) redução da capacidade de análise, o tamanho máximo de bloco foi reduzido de 2024 para 1024 dados, o que representou uma economia de 4 kW;
- (2) divisão do módulo INPUT, economia de 2,3 kW;
- (3) otimização da subrotina TTY, economia de 0,2 kW.

Quando se quer a interrupção da execução normal do programa, no IPEN, executa-se outro programa chamado JR, de prioridade mais alta que PSDREC, e que transmite o tipo de interrupção desejada à uma região comum da memória.

Para que houvesse espaço contíguo, em disco, para a alocação do programa, foram colocados em fita magnética os compiladores Fortran e Assembler e ainda o programa utilitário de gerência de bibliotecas.

Os gráficos são feitos no IPEN de modo indireto, usando o graficador HP 7200A. Os pontos para o espectro de interesse são, inicialmente, gravados em disco, sendo depois transferidos para uma fita de papel com formato adequado à leitora de fita de uma tele-impressora conectada ao graficador.

A última modificação foi na subrotina RATIO, que agora indica todas as frequências individuais que excederam os critérios de aceitação de D_{II} e D_{III} e não apenas uma frequência para cada um desses discriminadores.

6.1.5 - Capítulo 5

O procedimento geral, usado para a verificação da capacidade do programa perceber anomalias foi: durante a fase de aprendizado são conhecidas as condições de funcionamento normal de um sistema, durante a fase de monitoração, em seguida, uma anomalia é introduzida e é verificado se o programa a percebe.

Em análises reais, há pelo menos três situações principais, onde se tem interesse em aplicar o programa:

- (1) variação na frequência de picos;
- (2) variação na amplitude de picos;
- (3) alargamento ou encurtamento de picos.

Somente o terceiro teste não foi simulado.

Para se detectar uma variação de frequência usou-se dois picos produzidos por geradores senoidais com uma diferença de frequência f_{BAT} pequena ($f_{BAT} \ll \Delta f$). Aumenta-se então a diferença de frequência f_{BAT} , e se verifica sua percepção pelo programa. Com base em f_{BAT} são fixados os números de blocos dos espectros PSDZ, PSDT, PSDB, o intervalo (em blocos) entre dois espectros de tendência e o número de blocos no período de aprendizado.

Os testes feitos estabeleceram:

- (1) faixa dinâmica para a utilização do ADF-11 (90 dB);
- (2) comparação da percepção de anomalias quando se analisa todo o espectro de frequências ou somente uma faixa (na segunda opção a "capacidade de percepção" foi maior);
- (3) percepção de Δf para vários casos nos quais o tamanho do bloco foi mudado para diferentes atenuações de um dos picos;
- (4) capacidade dos três tipos de comparação feitas entre os espectros para perceber anomalias; as comparações do tipo PSDT/PSDB são as mais sensíveis;
- (5) o desempenho do "clock" interno através de um teste idêntico aos do item 3, porém para frequências 100 vezes maiores.

Para se detectar um aumento de nível em um pico, foi usado um sinal de ruído branco com um sinal senoidal superposto: Depois foi medido o mínimo aumento de amplitu-

de, do sinal senoidal que o programa percebia.

Os testes realizados foram:

- (1) aumento de nível ΔA percebido para blocos de 256 e 1024 dados;
- (2) número mínimo de blocos de 256 e 1024 dados, para se ver um aumento ΔA de amplitude;
- (3) capacidade de percepção de ΔA quando se varia o número de blocos no espectro base, para blocos de 256 e 1024 dados.

Finalmente o programa foi aplicado a um caso "real" em que foram analisadas gravações da vibração de um conjunto motor-bomba hidráulica, para três condições de vazão. Usou-se o programa para a percepção das variações espectrais quando se compara duas dessas condições. O procedimento para essa comparação é: faz-se o aprendizado para uma das condições de vazão, e passa-se a monitorar o sinal referente a outra condição.

Notou-se a importância do estado estacionário dos geradores senoidais e do "clock" externo nos testes. Isto era devido ao fato de que as variações que ocorrem nas frequências dos geradores são incluídas como condições normais (na fase do aprendizado) o que nem sempre é desejado, pois diminuirá a capacidade do programa indicar as anomalias.

6.2- Conclusões

6.2.1 - Quanto à Implantação do Programa

A implantação dessa primeira versão certamente facilitará bastante o trabalho de implantação das próximas que forem enviadas de ORNL. Os problemas mais importantes, tais como o da insuficiência de memória, os relativos à diferença dos sistemas operacionais e dos periféri

cos foram resolvidos. A versão que se implantou foi para análises "off-line". Outro fato a ser observado é que usou-se a capacidade do sistema para simular o tipo de operação usada em ORNL. Assim, caso seja solicitado, o sistema operacional poderá também interromper o funcionamento normal do programa.

6.2.2 - Quanto aos Parâmetros Usados

Os principais testes relativos aos parâmetros foram o teste do número mínimo de blocos necessários para analisar um espectro e o teste da variação do número de blocos usado para calcular o espectro base. Quando o tamanho do bloco, e conseqüentemente a resolução, é diminuído, é preciso um maior número de blocos para identificar o aumento mínimo de nível de um pico.

No teste da variação do número de blocos no espectro básico, é de se notar que para um bloco de 1024, a capacidade do sistema indicar anomalias, melhora com o aumento do número de blocos até um limite de 260 blocos.

Quando se toma um bloco de 256, não se pôde concluir que para 270 blocos em diante a monitoração apresente as mesmas características encontradas para 1024. Assim, talvez, essa característica seja encontrada a partir de 540 blocos, mas seriam necessários mais testes para o bloco de 256.

Na escolha do número de blocos no espectro básico, outro fator importante é o do tempo necessário para se tomar todos os blocos do espectro básico. Durante todo esse tempo é necessário que o sistema permaneça quase invariável em suas características espectrais, o que nem sempre é o caso.

Os testes, em sua maioria, foram feitos usando-se somente 100 blocos no espectro base porque este é um nú

mero tal que permite maior rapidez à formação do espectro base, portanto o sistema fica menos tempo sujeito à variações. Em geral deseja-se que este número seja o maior possível, mas tem-se a limitação exposta acima.

6.2.3 - Quanto à Capacidade de ver Variações de Frequência dos Picos

Nesses testes pode-se notar a crescente dificuldade do sistema enxergar os picos cada vez menores, quando a eles estão sobrepostos picos maiores. Isto contribuirá certamente para tornar as análises ineficazes caso ocorram picos com grande diferença de amplitude em canais adjacentes ou quase adjacentes. Note-se que o problema maior é o da diferença de amplitude, uma vez que o sistema mostra grande capacidade de diferenciação quando não há diferença de amplitude (para um bloco de 1024 tem-se 0,1 Hz/1 Hz).

Quanto ao teste em frequência maior (30 kHz) o valor encontrado, (40 Hz/125 Hz), mostra a aplicabilidade do programa para frequências altas e a melhora na capacidade de diferenciação.

6.2.4 - Quanto à Capacidade de ver Aumento em Amplitude dos Picos

A observação mais importante sobre esses resultados é a proximidade entre as amplitudes de pico percebidas para dois blocos, 1024 e 256, respectivamente 7 e 8 dB, o que parece indicar um comportamento pouco dependente da resolução mas, muito dependente do número de blocos no espectro básico, como já foi dito.

6.2.5 - Quanto ao Mínimo de Blocos para se ver Aumento de Nível

Quanto a esse teste deve-se comentar que ele somen-

te mostrou que "visualmente" pode-se identificar um pico em um espectro que é a média de dois blocos (para um bloco de 1024) ou quatro blocos (para 256). Neste teste não se mostrou o número mínimo de blocos que deveria haver em PSDZ para que o program identificasse a mesma anomalia. Na figura 6.1 é mostrada a aceitação do discriminador D_I quando se diminui ou aumenta o número de blocos (aceitação inicial). Pode-se notar na figura 6.1 que quanto menor o número de blocos envolvidos nas comparações, maior a aceitação de D_I .

6.2.6 - Quanto às Frequências de Amostragem

As frequências de amostragem usadas foram para casos ideais de 1 kHz e 125 kHz, enquanto que para casos "reais" usou-se 400 Hz e 4 kHz. Note-se que as aplicações em ruído de reatores demandam frequências menores, a faixa de interesse é da ordem de Hz, ou ordens de grandeza menores. Se fossem feitos testes nessa faixa isso certamente traria o problema do tempo para aquisição de um bloco de dados, demandando alta estabilidade de todos os equipamentos utilizados.

A estabilidade da frequência de amostragem, quando dada por "clock" externo, é particularmente importante, pois uma pequena variação (de por exemplo 3 Hz em 1000) pode levar o espectro todo a se deslocar, fato que o programa sempre indica como anormal pela não aceitação de discriminadores como por exemplo o de número cinco. Quando tal fato ocorria era necessário reiniciar a execução do programa para a nova frequência de amostragem.

6.2.7 - Quanto à Aplicação à Casos "Reais"

A aplicação a casos reais se mostrou satisfatória, para as condições usadas. O programa foi capaz de perceber mudanças principalmente na amplitude de certas frequên -

cias. Outro fato que deve ser notado é o (vai ser abordado no próximo ítem) da incerteza quanto ao tipo de modificação espectral que ocorreu, quando se tem vários discriminadores fora de seus limites de aceitação.

Deve-se observar que as gravações futuras devem ter maior duração, de modo a permitir uma análise usando maior resolução (Δf menor) e mais blocos no espectro básico.

Essa deve ter sido a razão do programa não ter acusado diferenças quando se analisou os trechos 1 e 2, para menos que 100 Hz. Note-se que quanto menor o número de blocos maior a aceitação dos espectros pelos discriminadores. Assim somente variações muito significativas podem ser estatisticamente taxadas como anormais. Outro fato que deve ser notado é que as faixas analisadas podiam ter sido mais estreitas, o que permitiria um aumento da eficiência para identificar anomalias.

6.2.8 - Quanto aos Discriminadores

Como foi dito no ítem 5.2.2, os discriminadores mais sensíveis foram os de número 2, 3 e 5. Tais discriminadores referem-se ao máximo e mínimo aceitáveis para uma razão log de uma certa frequência, e a soma dos quadrados das razões log de r frequências individuais.

No capítulo 5, pode-se notar que todos os testes envolvem os tipos de mudança notadas, ou seja, aumento de nível em certas frequências, e portanto aumento da soma dos quadrados desses desvios. A figura 6.2 mostra o que foi dito.

Uma conclusão importante é que fica difícil se fazer afirmações do tipo: "quando o discriminador D_I é excedido, o tipo de modificação que ocorreu é...".

O que se vê é que as mudanças que se desejaria que

o programa notasse são geralmente descritas por um ou mais discriminadores fora de seus limites de aceitação. Deve-se notar particularmente o teste feito para se ver se haviam mudanças no espectro ao longo do trecho três. Esse teste indicou por meio dos discriminadores 3 e 5, somente uma frequência inaceitável. Com base neste real e nos teste ideais feitos com dois picos, parece razoável afirmar que quando se tem somente esses dois discriminadores inaceitáveis, houve aumento de amplitude na frequência indicada.

Outro problema que deve ser notado é de que pequenas diferenças eram apontadas por poucos discriminadores fora da aceitação, enquanto uma modificação igual de maior intensidade (testes 'reais') traz grande quantidade de discriminadores fora da aceitação. Deve-se então estudar esse outro problema: quais discriminadores tornam-se inaceitáveis à medida que aumenta a intensidade das anomalias.

6.3- Sugestões para Trabalhos Futuros

Esse trabalho sobre campo para outros no futuro, assim sugere-se dois tipos de trabalho:

- (1) os que envolvem aplicações do programa;
- (2) os que envolvem desenvolvimento do programa.

Quanto ao tipo (1) tem-se:

(1) Aplicações:

- a) medidas do ruído neutrônico
- b) motores e máquinas rotativas
- c) ruído de temperatura (termopares)
- d) ruído de vazão.

- (2) Identificação de vários tipos de variação espectral ocorridas, com base nos conjuntos de discriminadores

fora de aceitação

- (3) Aplicações a outros tipos de espectros tais como:
- a) coerência de espectros
 - b) DEPC - densidade espectral de potência cruzada.
- (4) Aplicação a sinais cujo espectro tenha um pico com distribuição de frequências gaussianas, de modo a se fazer os testes relativos ao encurtamento ou alargamento de picos (item 5.1)

OBS: os itens 3 e 4 envolvem produtos e divisões de espectros portanto é necessário algum desenvolvimento da teoria estatística envolvida.

Quanto ao tipo (2) tem-se as seguintes sugestões:

- (1) Modificações do programa de modo a se analisar blocos de 2048 dados. Isto pode ser feito sem aumentar o tamanho da área intermediária para transferência de dados ao disco em duas etapas
- (2) Modificações de modo a permitir que hajam uma ou mais frequências de amostragem a "clock" interno, menores que 125 kHz, sem a necessidade de mudar ou introduzir equipamentos. Isto pode ser feito, dependendo da memória disponível, para o segmento FFT, fazendo a leitura de 2N dados a 125 kHz e tomar somente N dados (os de número par ou ímpar), N é o tamanho do bloco
- (3) Monitoração de canais diferentes simultaneamente e sem qualquer tipo de análise cruzada. Isto pode ser feito aumentando-se o número de arquivos em disco referentes aos parâmetros de controle e dados dos espectros. Eles devem ser abertos sequencialmente para cada canal monitorado.
- (4) Colocar o programa "on-line". Isto pode ser feito incluindo-se no segmento INPUT uma subrotina que per-

gunte de quais espectros se deseja que faça gráficos, e quais as suas características. A resposta pode ser enviada à região JRM. Suprimir todas as perguntas que o programa faz quando se detecta uma anomalia. Incluir nos arquivos FOR004.DAT informações para se fazer os gráficos no HP7200A.

- (5) Como na presente versão a região APD existe, porém não é usada, tem-se duas opções:
- a) Usar APD - servirá para verificar se a distribuição dos dados é gaussiana ou não
 - b) Retirar APD - liberação de 0,5 kbyte de memória para outras funções.
- (6) Monitorar várias faixas de frequência que se deseja analisar em um espectro, separadamente, ao contrário do que é feito. Atualmente as várias faixas de frequência analisadas são juntadas e consideradas como um único espectro. Isto pode ser feito aumentando-se o número de arquivos em disco referentes aos parâmetros de controle e dados relativos à cada faixa. Eles devem ser abertos seqüencialmente para cada faixa monitorada.

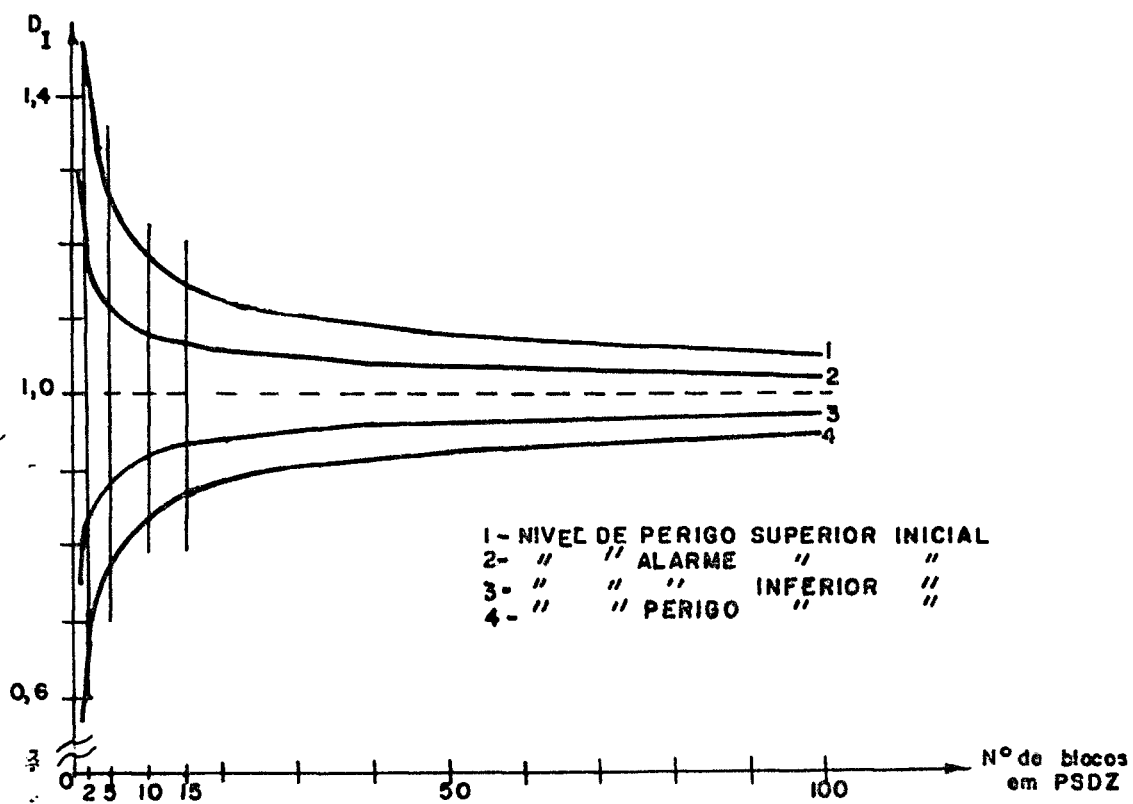


FIGURA 6.1- Aceitação Inicial do Discriminador D_I
 para $N_2 = 2N_1$ (N_2 = número de blocos
 em PSDT, N_1 = número de blocos em PSDZ)
 e para blocos de 1024 dados.

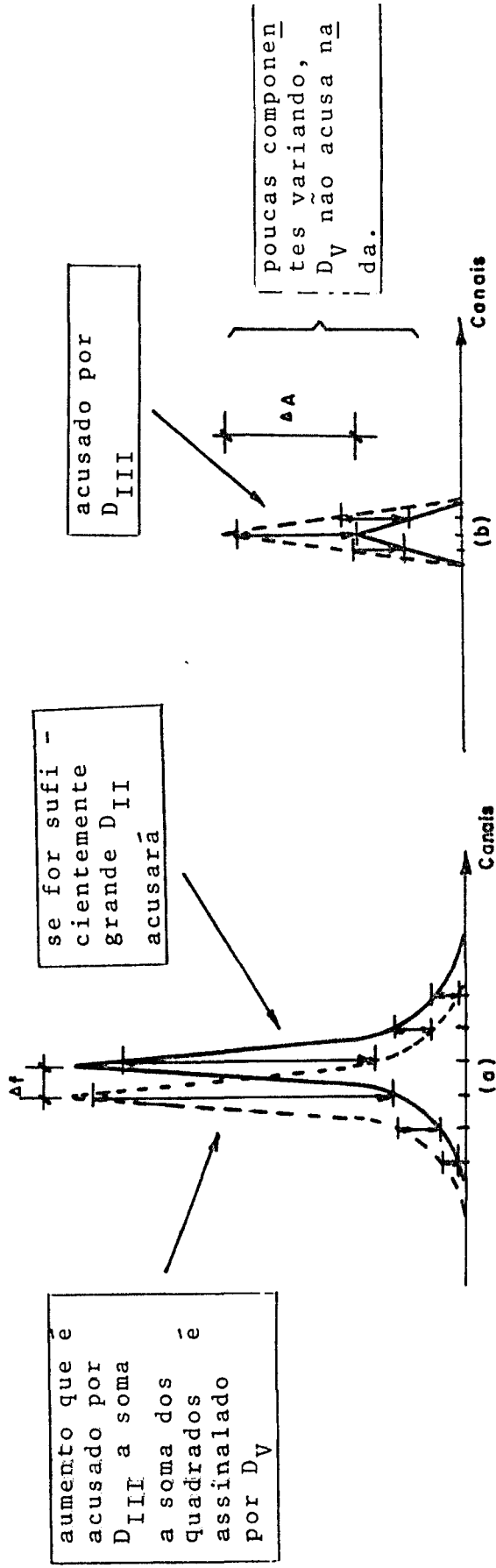


FIGURA 6.2- Teste da variação em frequência (a) e Teste de Aumento de Nível de Pico (b).

OBS:- As setas indicam a diferença de amplitude de amplitude log entre os espectros, ou seja, a própria razão entre eles.

APÊNDICE A

Descrição das subrotinas existentes em cada módulo do programa PSDREC

- (1) MAIN : Dentro dessa rotina está toda a estrutura lógica do PSDREC.
- (2) PSDCHK : Essa rotina determina que tipo de comparação [(1) DEP atual/DEP de Tendência, (2) Candidato a DEP de Tendência/DEP de Tendência, (3) Candidato a DEP de Tendência/DEP base] será feita e chama as rotinas de análise estatística.
- (3) USER : Essa rotina permite que o usuário peça do terminal CRT uma listagem ou gráficos especiais das DEP's no formato que ele especifica.
- (4) SUMARY : Essa rotina chama as subrotinas que fazem as listagens ou gráficos do sumário normal a cada NSV blocos.
- (5) BLOCKDATA : Essa rotina inicializa algumas variáveis nas áreas de COMMON. Em ORNL ela inicializa também PSDT, PSDZ e APD, aqui no IPEN essa inicialização é feita por JRDAT.
- (6) TTY : Em ORNL: checa o "buffer" do monitor para ver se entrou algum caracter do CRT. Se existe caracter ela usa o I? para tomar a ação apropriada. (Vide Tabela 1, Cap.III).
No IPEN: ele checa a variável inteira IBAT em uma área de COMMON entre prog. para tomar a decisão apropriada. (Vide apêndice C).
- (7) CHKTIM : (Existe somente em ORNL) - Corrige a hora a a data quando o monitor de Tempo do RT-11 excede 24:00 hs.
- (8) INPUT : Inicia o diálogo necessário para que o usuário especifique todos os parâmetros de controle do programa.
- (9) FNUM : Faz as perguntas do diálogo que requerem respostas no formato de ponto-flutuante.

- (10) INUM : Faz as perguntas do diálogo que requerem respostas no formato inteiro.
- (11) ALPHA : Essa rotina aceita as respostas alfa-numéricas a todas as perguntas e, em ORNL, repete as respostas na impressora.
- (12) FRQ : Essa rotina coloca os limites de um intervalo de frequência em termos dos harmônicos correspondentes.
- (13) SUMPLT: Essa rotina inicializa as áreas de dados para os gráficos gerados durante um sumário de dados.
- (14) ABPLOT: Essa rotina inicializa as áreas de dados que controlam os gráficos gerados quando ocorrem condições anômalas.
- (15) PLOTIN: Faz perguntas diversas para especificar o tipo de gráfico.
- (16) THEORY
E SHEORY: (Mesmas rotinas com nomes diferentes) - Essas rotinas calculam a média teórica e a variância para a soma dos logarítimos das razões (DISCRIM. IV) e a soma dos log. das razões ao quadrado. (DISC. V). Calcula também o critério limite para a razão da integral de potência e, as razões individuais mínimos e máximos.
 (Discs. I a III).
- (17) FMEAN
E FMEEN : (Mesmas rotinas) - Essas rotinas calculam a média de uma variável qui-quadrado com FNI graus de liberdade que sofreu transformação log.
- (18) FSIG
E FSIGG : (Mesmas rotinas) - Calculam a variância da variável acima.
- (19) F3CM
E F4CM : (Mesmas rotinas) - Calculam 3º momento central.

- (20) F4CM E : (Mesmas rotinas) - Calculam o 4º momento central.
FM4C
- (21) FCONF E : (Mesmas rotinas) - Essas rotinas calculam o intervalo de acei-
FCON tação para uma variável F com transformação log. com FN1 e FN2 graus de liberdade.
- (22) SUPOW E : (Mesmas rotinas) - Calculam a integral de potência da DEP nos
SUMPOW intervalos de frequência especificado.
- (23) STATOU : Chama a subrotina que sumariza os critérios de limite para os
tres tipos de comparação entre os espectros.
- (24) IOSTAT : Sumariza os critérios de limite determinados pelos dados de
entrada.
- (25) NEWREF : Essa rotina modifica os parâmetros estatísticos e de controle
apropriados de modo a permitir que um novo espectro de Tendên-
cia substitua a atual DEP de Tendência.
- (26) RATIO : Essa rotina calcula os oito discriminadores estatísticos dos
dados e os analisa para ver se excedem os valores limite. Es-
sa rotina também calcula o primeiro e segundo momentos neces-
sários a corrigir os valores dos critérios.
- (27) TRDCAL : Forma o candidato a DEP de Tendência fazendo a média entre
 N_2 blocos de DEP atuais.
- (28) SSTATE : Essa rotina é usada com máquinas rotativas para determinar se
sua velocidade variou. Essa rotina analisa alguns parâmetros
para ver se eles possuem o mesmo valor dentro de certa porcen-
tagem para um certo intervalo de aceitação.

- (29) UPDATA : Essa rotina muda a DEP de tendência no disco (arquivo ' PSD. DAT), atualiza os parâmetros estatísticos e corrige os valores dos critérios de limite.
- (30) PRTSUM : Essa rotina imprime o sumário dos parâmetros estatísticos e as DEP's.
- (31) UPDFIL : Essa rotina troca os parâmetros de controle por seus valores atuais e para o programa.
- (32) SUMOUT * : Essa rotina dirige a produção dos gráficos a serem gerados juntamente com os sumários
- (33) ABOUT * : Essa rotina dirige a produção dos gráficos a serem gerados por ocasião de condições anormais.
- (34) FRPLOT : Essa rotina gera um gráfico da DEP, e mensagens sobre a existência de condições anômalas.
- (35) MABEL * : Essa rotina gera os "labels" apropriados aos gráficos.
- (36) APDPLT * : Sua rotina gera um gráfico da função distribuição de probabilidade das amplitudes do bloco de dados.
- (37) PLTLBI * : É um conjunto de rotinas em FORTRAN as quais permitem a produção de diversos tipos de gráficos.
- (38) PLTMAC * : É um conjunto de rotinas em assembler, que tornam o Terminal CRT Tektronix 4010, em um Terminal gráfico. Ao todo são 10 subrotinas.
- (39) FFTR : Essa rotina faz a chamada da subrotina em assembler que faz a FFT.
- (40) XFORM2 : É uma subrotina em assembler que amostra n canais do ADC, aplica (se pedida) uma "janela" do Tipo "Hanning", faz a FFT de cada bloco e tira a média de N_1 blocos para obter o DEP atual.

* No IPEN evita-se o uso dessas subrotinas respondendo-se as perguntas do tipo "PLOT?" (Vide Apêndice B) com "N".

- (41) IEAPLT: Subrotina que permite a listagem e a conversão dos dados a um formato inteiro adequado para se fazer gráficos no HP 7200.

APÊNDICE B

Diálogo para a entrada dos parâmetros de controle do programa.

<u>Pergunta</u>	<u>Respostas possíveis</u>	<u>Explicação</u>
(1) "NEW RUN?"	"Y" ou "N"	Essa pergunta é necessária para determinar se será iniciado um novo monitoramento ou se continuará o monitoramento precedente.
(2) "TITLE?"	Até 20 caracteres Alfa-numéricos	É para determinar se será usado "clock" interno ou de fonte externa.
(3) "EXTERNAL INTERRUPT?"	"Y", "N" ou "N*" no IPEN "Y"	Se a resposta for N* (ORNL), as 2 próximas perguntas serão modificadas para (4) MAX FREQUENCY e (5) RESOLUTION, cujas respostas devem ser n° em formato ponto flutuante.
(4) "LOG(2) N?"	Inteiro de 4 a 11 no IPEN, inteiro de 4 a 10	O tamanho do bloco de dados a ser usado para a FFT.
(5) "SAMPLING RATE?"	N° em ponto flutuante (≤ 12.0 KHZ) no IPEN ≤ 125.0 KHZ	Frequência de amostragem desejada em KHZ. No IPEN até 15 KHZ é usada a frequência respondida. Se >15 KHZ a frequência de amostragem é fixada em 125KHZ.
(6) "HANN WINDOW?"	"Y" ou "N"	Determina se o dado amostrado terá uma janela de tempo aplicada a si
(7) "FILTER SETTING?"	Até 10 caracteres Alfa-numéricos	Informação para "LAPFLS" internos.

- | | | |
|---|---|--|
| (8) "CHANNEL ID?" | Até 10 caracteres
Alfa-numéricos | Informação para "LABELS" internos. |
| (9) "EXTERNAL
GAIN VOLTS
DC?" | Nº em formato ponto
flutuante | Constante de Normalização aplicada às DEP's. |
| (10) "STEADY STATE
CRITERIA?" | Qualquer nº inteiro. Ele ignora considerações sobre SS se ≤ 1 . | Determina o nº de medidas consecutivas dos parâmetros operacionais que precisam cair dentro de uma certa porcentagem (pergunta 24) para ser estabelecido SS (aplicação a motores etc). |
| (11) "ANALYSE
ENTIRE FREQ.
RANGE" | "Y" ou "N" | Determina se todas as DEP's serão analisadas em todas as suas frequências. |
| (12) "FREQUENCY
INTERVAL?" | Dois nºs. em ponto flutuante faixa de Análise: XX,YY | Este tipo de pergunta persiste até que 10 faixas de frequências sejam analisadas. |
| (13) "SUMMARY
INTERVAL?" | Um nº inteiro | Determina quantos blocos serão analisados entre os sumários. |
| (14) "PRINT
FREQ.
INTERVAL?" | Dois nºs. em ponto flutuante dentro da faixa impressa XX,YY | Determina quais as componentes da DEP que serão escritas nos sumários (são possíveis até 10 intervalos separados). |
| (15) "PLOT?" | Z=DEP atual
T=DEP de Tendência
B=DEP base
A=Função Dens. de prob. das amplitudes | Especifica que gráficos são desejados nos sumários (máximo de 5 gráficos) A resposta "N" no IPEN eliminará as 2 próximas perguntas (16) e (17). |
| (16) "LOG FREQ?" | "Y" ou "N" | Gráfico com escala log ou linear no eixo das frequências. |
| (17) "DECADES?" | Inteiro entre 0 e 10 (0=Rotina para encontrar automaticamente o nº de décadas) | Fixa o nº de décadas a serem usadas no eixo das amplitudes. |

(18) "DETECTION INTERVAL?"	Inteiro > 0	Fixa o nº de médias para o espectro atual, antes de compará-lo ao espectro de Tendência.
(19) "TREND INTERVAL?"	Inteiro > 0	Fixa o tamanho do período em termos da quant. de blocos analisados antes de fazer as comparações entre o candidato a espectro de Tendência e os espectros de Tendência e base.
(20) "BLOCKS IN LEARNING PERIOD?"	Inteiro > 0	Fixa o tamanho do período em termos da quantidade de blocos de dados analisados para estabelecer o comportamento normal do sistema.
(21) "BLOCKS IN TREND PSD?"	Inteiro > 0	O nº de médias a serem incluídas na DEP de Tendência.
(22) "BLOCKS IN BASE PSD?"	Inteiro > 0	O nº de médias a serem incluídas na DEP base.
(23) "ANOMALY REPORTING;" "PLOT PSD?" "PLOT RATIO?" "PLOT BOTH PSD?" "PLOT APF?"	"Y" ou "N", no IPEN, "N" para todas essas perguntas	Determina que gráficos serão gerados quando uma anomalia é detectada. Cada resposta "Y" gerará 2 ou mais perguntas do tipo das (16) e (17) para determinar os parâmetros dos gráficos.

OUTRAS PERGUNTAS QUE PODEM SER FORMULADAS:

(24) "% VARIATION IN RPS?"	Nº em ponto flutuante	Essa pergunta é feita quando a resposta à pergunta 18 é 1.
-------------------------------	--------------------------	--

(25) "NEW DISCRIMINANT PARAMETERS?"	"Y" ou "N"	Essa pergunta é feita quando a resposta à pergunta (1) é "N". Ela determina se é desejada alguma modificação dos parâmetros usados no monitoramento anterior, perguntas (26), (27) e (28).
(26) "NEW CRITERION?"	Nº em ponto flutuante	Fixa um novo nível de alerta para discriminador (DV)
(27) "NEW DETECTION MEAN?"	Nº em ponto flutuante	Fixa uma nova média para cálculos de discriminadores.
(28) "NEW DETECTION STANDARD DEVIATION?"	Nº em ponto flutuante	Fixa um novo desvio padrão para o cálculo dos discriminadores.
(29) "REINITIALIZE USING TREND PSD?"	"Y" ou "N"	Determina se deve calcular uma nova DEP de Tendência diretamente do sinal monitorado, ou deve usar o que está no disco do monitoramento anterior. Essa pergunta é feita caso a pergunta (1) seja "N".
(30) "NEW INPUT?"	"Y" ou "N"	Determina a entrada de novos parâmetros, caso pedidos fazendo as perguntas de (7) a (17) e a (21).
(31) "ADDITIONAL LEARNING BLOCKS?"	"N" ou nº inteiro	Essa pergunta é feita caso a resposta da de nº (30) seja "Y". Determina a entrada do nº de blocos adicionais, no período necessário a estabelecer o comportamento normal do sistema.

PERGUNTAS FEITAS EXCLUSIVAMENTE NO IPEN

- | | | |
|--|------------|---|
| (32) "DO YOU WANT
PRINTS IN TT1:?" | "Y" ou "N" | Determina se os sumários sairão no terminal impressor ou simplesmente serão mostrados no terminal CRT. |
| (33) "DO YOU WANT
DISCS, IN TT1:?" | "Y" ou "N" | Determina se os oito discriminadores resultantes das comparações entre os diversos tipos de blocos de dados sairão no terminal impressor ou simplesmente serão mostrados no terminal CRT. |
| (34) "DO YOU WANT
"SLR,S \bar{S} LR" IN
TT1:?" | "Y" ou "N" | Determina se os discriminadores atualizados após o período de aprendizado e após cada novo espectro de tendência serão impressos ou mostrados no terminal CRT . |
| (35) "DO YOU WANT
POINTS FOR
PLOTS?" | "Y" ou "N" | Determina se será produzido um arquivo em disco contendo pontos (XY) adequados a fazer gráficos no graficador HP (caso posteriormente se faça uma fita de papel com esses dados). |
| (36) "PSDZ=(1),
PSDT =(2)
RATIO=(3) | 1,2 ou 3 | Determina de que espectro serão tirados os pontos para os gráficos, no graficador HP. |
| (37) "HORIZONTAL
LOG SCALE?" | "Y" ou "N" | Determina o tipo de Escala Horizontal para os gráficos. |
| (38) "VERTICAL
LOG SCALE?" | "Y" ou "N" | Determina o tipo de Escala Vertical para os gráficos. |

(39) "PRINT AND
PLOT ALL?"

"Y" ou "N"

Pergunta feita caso ocorra anomalia. Caso a resposta seja "Y" é determinado automaticamente, o intervalo a ser escrito; é escrito; são feitas as perguntas de (35) a (38), e então vem a próxima pergunta.

(40) "LST
HARMONIC,
LST HARMONIC
(2*13)?"

(CR) - retorno
de carro ou
dois n^{os} intei
nos no formato
especificado

Aqui se permite que até 10 intervalos de harmônicos possam ser escritos e depois "feitos" os grãficos de cada intervalo (perguntas de 35 a 38).

APÊNDICE C

Nesse apêndice são mostrados as instruções usadas e os arquivos criados para o funcionamento e construção /15/ do programa executável PSDREC.TSK. As instruções são particulares do sistema operacional RSX11M, versão 2.0.

C-1- Arquivo PSDREC.COMD, a partir do qual é criado o programa executável PSDREC.TSK (a instrução usada será: TKB @ PSDREC).

```

ACTFIL = 4
MAXBUF = 2048
COMMON = ADFREG: RW
COMMON = JRDAT : RW
UNITS = 9
ASG = TT # : 6:3:8:7
ASG = DK # : 1:2:4
TASK = PSDREC

```

C-2 -Arquivo PSDREC. ODL, contém a descrição da estrutura "overlay" usada pelo programa PSDREC.

```

. ROOT PSDRE4-* AFCTR
AFCTR; . FCTR TTY - *(DFCTR, RATIO, PSDASG, UPDATA, SUMMARY, CFCTR, BFCTR)
DFCTR; . FCTR INPUT2 - *(FRQ, OTHERS-IEALIB/LB: TTROT)
CFCTR; . FCTR RPLLOT - *(IEAPLT, PLTLB2 - *PLTMAC)
BFCTR; . FCTR FFTR - *KFORM
. END

```

C-3- Instruções para a criação da partição JRDAT, sem geração de sistema /14/ e sobre memória já alocada, no caso, sobre a partição GEN que iniciava em 50000 (8kw) e terminava em 200000 (32 kw).

```

- SET/UIC=[1,54]
- PIP RSX11M. SYS; 3/DE
- PIP RSX11M. SYS= RSX11M. TSK
- RUN VMR

```

ENTER FILENAME : RSXIIM

VMR > SET/POOL=400

VMR > SET/MAIN=SYSPAR: 400;100; TASK

VMR > SET/MAIN=GEN: 500; 1167; SYS

VMR > SET/MAIN=JRDAT:1667; 111; COM

VMR > SET/MAIN=ADFREG: 7640; 1; DEV

VMR > INS (Tarefa); aqui deve-se instalar todas as tarefas do sistema que se queira, uma a uma.

VMR > ^Z

> BOO RSXIIM.SYS

> MOU DK:

> c [1,2] STARTUP

7 Execução dos comandos contidos no arquivo de comando indireto Startup.
CMD.

> PIP/LI

> SET/UIC= [200,200]

> DMO DK:

> SAV / WB

- o SAV salva o novo sistema modificado no disco com o cabeçalho necessário para colocar o sistema no ar. Logo após salvar o sistema modificado, o SAV coloca-o no ar.

BOO RSXIIM

MOU DK:

c [1,2] STARTUP

> -

Agora o novo sistema está pronto para uso.

C-4- Programa JRDAT.FTN que será instalado na partição JRDAT e que será acessado tanto por JR como por PSDREC. Este programa inscializa várias variáveis para armazenamento de dados.

BLOCK DATA

INTEGER IBAT (7)

INTEGER*2 APD (256)

REAL * 4 PSDZ (512), PSDT (512)

```

COMMON/ARRAYS/PSDZ,PSDT
COMMON/JRM/IBAT
DATA PSDZ/ 512*Ø.Ø/ , PSDT/ 512*Ø.Ø/ , APD / 256*Ø /
DATA IBAT / 7*Ø/
END

```

C-5 - Instruções para a construção do programa JR.DAT. TSK que deverá ser depois instalado na partição JR.DAT (INS [1,1] JR.DAT).

```

TKB ≥ JR.DAT/PI, JR.DAT/SH, JR.DAT/HD= [200,200] JR.DAT
TKB ≥ /
TKB ≥ STACK = Ø
TKB ≥ UNITS = Ø
TKB ≥ PAR = JR.DAT
TKB ≥ //

```

C-6 - Programa JR.FTN que acessará a região comum IBAT e modificará seu valor desviando o programa PSDREC de seu funcionamento normal.

```

INTEGER IBAT (7)
INTEGER* 2 APD (256)
REAL * 4 PSDZ (512), PSDT (512)
COMMON / ARRAYS/ PSDZ, PSDT
COMMON / JRM / IBAT
DO 30 I= 1,6
WRITE (3,2Ø)
READ (3,2Ø) IBAT (I)
IF (IBAT (I). EQ. Ø ) GO TO 4Ø
3Ø CONTINUE
4Ø CONTINUE
1Ø FORMAT (' + ', Ø, ' (1), (2), (3), (4), (5), (CR) = ')
2Ø FORMAT (I1)
END

```

C-7 - Instruções para a construção do programa JR.TSK, que quando chamado pelo MCR (RUN JR), tirará PSDREC da memória e entrará em seu lugar, devido a sua prioridade maior.

```
TKB> JR = JR  
TKB> /  
TKB> PRI = 100  
TKB> ACTFIL = 2  
TKB> UNITS = 3  
TKB> ASG = TTA :3  
TKB> COMMON = JRDAT: RW  
TKB> TASK = JR  
TKB> //
```


- (4) Esses valores referem-se ao discriminador DI- nível de alerta. O primeiro número é o limite inferior e o segundo número é o limite superior.
- (5) Valores referentes ao discriminador DI- nível de perigo. O 1º número é o limite inferior e o 2º é o limite superior.
- (6) Os valores apresentados aqui referem-se aos discr. DII e DIII. O primeiro nº é o nível de alerta para o discriminador DII e o segundo é o nível de alerta para o discriminador DIII.
- (7) Também se referem aos discr. DII e DIII. O primeiro nº é o nível de perigo para o discriminador DII e o segundo é o nível de perigo para o discriminador DIII.
- (8) Aqui são mostradas as médias (1º número) e o desvio padrão (2º número) calculados para as razões logarítmicas.
- (9) Todos os valores abaixo referem-se aos valores teóricos calculados para a aceitação de alguns discriminadores que testam a razão entre os espectros PSDT e PSDT*, ou seja a razão entre o novo espectro de tendência e o anterior.

OBS: No início de uma nova execução do programa, o que implica no uso de novos parâmetros de entrada, somente são impressos valores teóricos relativos às duas comparações; $PSDZ/PSDT^*$ e $PSDT/PSDT^*$. Existe ainda outro tipo de comparação, $PSDT^*/PSDB$, que só é impressa quando ocorrem as seguintes situações: o programa é terminado pelo operador após terem sido analisados $2 \cdot N_A$ blocos (ou espectros); (vide cap. II), e então é reiniciada sua execução usando-se os parâmetros da execução anterior. Apesar do operador definir o nº de blocos a serem incluídos no PSDB, se o nº de blocos referente à fase de aprendizado não for correto pode ser que o programa termine a fase de aprendizado sem completar o nº de blocos pedidos para o PSDB. Assim os nºs. teóricos referentes à aceitação do PSDB mudam, à medida que vão sendo incluídos mais espectros em sua média.

Os valores são impressos nos formatos (4), (5), (6), (7) e (8).

D-2) Valores práticos calculados para os discriminadores e sua aceitação durante a fase de aprendizado.

FORMATO:

PSDZ/ PSDT* (IB=50) (1)

(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
0.870	0.165	2.925	-6.146	3.406	-5.424	-1.699	0.749
1509.621	646.980	-0.14015	0.05632	20	12	12	
			** # 4**		** # 6**		

PSDZ/ PSDT* (IB= 60)

0.911	0.162	2.547	-1.994	0.595	-0.780	-1.032	-0.421
2999.637	646.980	-0.05887	0.04243	34	35	7	

PSDT / PSDT* (IB=60) (10)

0.886	0.366	2.520	-1.994	0.595	-0.780	-1.950	-0.655
2568.316	646.980	0.05887	0.05243	34	31	6	

PSDT/ PSDB (IB=60) (11)

				(12)				
0.082	0.395	3.393	-2.720	15.912	-1.773	-2.409	1.217	
1901.730	235.266	-0.04211	0.04242	33	29	14		

** # 5**

INTERPRETAÇÃO:

- (1) São mostrados os discriminadores calculados para a razão PSDZ/ PSDT*, para o espectro PSDZ composto da média de 10 blocos (do bloco 41 ao 50). É indicado também, pois que, até agora foram calculados 50 espectros (IB = 50).
- (2) Nessa coluna tem-se somente o valor obtido para o discriminador DI.
- (3) Nessa coluna são dados dois valores: 0.162, que é o valor da razão log nã frequência de 1509,621 HZ, tomado o discriminador DII.
- (4) Essa 3ª coluna dá os valores do discriminador DIII(2,925) e a frequência em que foi calculada a razão log máxima, ou seja, DIII(646,980HZ).

- (5) Na 4ª coluna aparece o valor normalizado do discriminador DIV (eq.2.93) para esse espectro (-6,146) em seguida temos o valor real do discriminador DIV (-0,14015) (eq. 2.57). Por último aparece nessa coluna a indicação ("**# 4**") de que pelo menos o nível de alerta teórico (ainda é fase do aprendizado) foi excedido. Note-se que a aceitação é feita com os critérios dados no item 2.2.7, sobre o valor normalizado.
- (6) Nessa coluna o valor normalizado do discriminador DV (-3,406)(vide eq.2.84) e o valor real (0,05632) calculado segundo a eq. 2.58, sendo que a aceitação é feita sobre o valor normalizado.
- (7) Na 6ª coluna aparecem o valor normalizado para o discriminador DVI (-5,424) (eq. 2.71) sobre o qual é feita a aceitação, e o valor real calculado (20) (item 2.2.3.5). Aqui também aparece a indicação de não aceitação para o valor normalizado obtido para o discriminador DVI ("**# 6**").
- (8) Essa 7ª coluna dá o valor normalizado de DVII (-1,699) (eq.2.73) obtido para o valor real (32) (Item 2.2.3.5). Aceitação aqui também é feita sobre o valor normalizado.
- (9) Na última coluna tem-se o valor normalizado de DVIII(0,749) (eq.2.76) para o valor real(12) obtido. (item 2.2.3.5). A aceitação aqui é feita sobre o valor real, calculando-se os limites de aceitação com base nos dados do Item 2.2.7.
- (10) A cada N_4 blocos é feita a aceitação e troca do espectro de tendência PSDT*antigo, pelo espectro novo PSDT.
- (11) A cada N_4 blocos também é feita a aceitação do novo espectro de tendência PSDT sobre o espectro base PSDB.

D-3) A atualização de parâmetros após o período de aprendizado:

FORMATO:

```
***UPDATED DISCRIMINANT PARAMETERS ***
- *** DETECTION PSD ***
```

- (2) ** SLR**
- (3) Previous Test mean = -0,54 965 E-2
- (4) Theoretical Standard deviation= 0,12019 E 00
- (5) Calculated Mean= -0,53247 E-2
- (6) Calculated Standard Deviation= 0,87230 E-1

- (7) Old Discriminant Criterion = 0,40 E-1 0,1 E-2
 (8) New Discriminant Criterion = 0,29031 E-1 0,72578 E-1
 (9) ** SSLR**
 Previous Test Mean = 0,14475 E-1
 Theoretical Standard Deviation = 0,20818 E-1
 Calculated Mean = 0,76374 E-2
 Calculated Standard Deviation = 0,15314 E-1
 Old Discriminant Criterion = 0,45 E-1 0,1 E-2
 New Discriminant Criterion = 0,33103 E-1 0,73562 E-1

INTERPRETAÇÃO:

- (1) São mostrados os parâmetros atualizados para dois discriminadores: D_{IV} (SLR) e D_V (SSLR) a serem usados na aceitação das razões PSDZ/PSDT*.
- (2) Primeiro são dados os novos e os antigos parâmetros referentes a D_{IV} .
- (3) Média usada até agora para se fazer a aceitação de D_{IV} .
- (4) Desvio padrão usado até agora para se fazer a aceitação de D_{IV} .
- (5) Média calculada dos dados e que substituirá a anterior (3).
- (6) Desvio padrão calculado dos dados e que substituirá o anterior (4).
- (7) Critério de aceitação até agora usado, o primeiro nº é o nível de alerta, o segundo é o de perigo.
- (8) Novo critério de aceitação a ser usado, atualizado com base nos dados. O primeiro nº é o novo nível de alerta e o segundo é o de perigo.
- (9) Agora são dados os parâmetros novos e antigos a serem usados para a aceitação de D_V .

D-4) Valores práticos calculados para os discriminadores, sua acerto e indicação de anomalias durante a fase de monitoração.

FORMATO:

(1) PSDZ/ PSDT* DISC (18 = 300)

0,855	0,273	3,089	-1,675	3,845	-1,609	0,912	1,657
	284,582	676,844	-0,05656	0,05467	26	37	11

(2) PSDT/ PSDT* DISC (IB = 300)

1,035	0,395	2,426	-0,532	2,734	-1,579	-1,375	-0,669
	938,352	384,570	-0,00918	0,02873	28	28	6

(3) PSDT/ PSDB* DISC (IB = 300)

1,730	0,363	4,608	4,377	19,544	2,631	-2,375	0,727
	599,930	238,434	0,04961	0,05278	40	24	9
** # 1 **		** # 3 **	** # 4 **	** # 5 **			

(4) RATIO 3

115.371**	123.063**	238.434**
-----------	-----------	-----------

ONDE:

- (1) É mostrado o resultado da análise da razão entre um espectro do tipo PSDZ e o de tendência PSDT*. A interpretação dos números é a mesma já dada no item D-2.
- (2) Resultados da análise da razão PSDT/ PSDT*.
- (3) Resultados da análise da razão PSDT/ PSDB* -, notar que quatro discriminados estão fora, indicando anomalia.
- (4) Durante essa fase qualquer frequência individual que exceda os níveis de perigo fixados para D_{II} e D_{III} é impressa. Deve-se notar que a frequência de 238.434HZ, mostrada aqui, excede o nível de perigo, e é a que apresenta a razão log, pois é a frequência para a qual D_{III} é calculado. (eq.2.56).

APÊNDICE E

Nesse apêndice são dadas as expressões necessárias ao cálculo da média e variância teóricas das distribuições que descrevem os discriminadores D_{IV} e DV:

Da eq. temos que:

$$D_{IV} = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Y_i \quad (E-1)$$

onde:

$$Y_i = \log_{10} \frac{P_1 (f_i)}{P_2 (f_i)} = \log_{10} \frac{X_{2n1}^2 / 2n1}{X_{n2}^2 / 2n2} \quad (E-2)$$

então:

$$\mu (D_{IV}) = \mu_y \quad (E-3)$$

e:

$$\delta (D_{IV}) = \delta_y / \sqrt{r} \quad (E-4)$$

expandindo a expressão E-2:

$$Y_i = \log_{10} (X_{2n1}^2 / 2n1) - \log_{10} (X_{n2}^2 / 2n2) \quad (E-5)$$

fazendo:

$$Y_1 = \ln (X_{n1}^2 / 2_{n1}) \quad (E-6)$$

$$Y_2 = \ln (X_{n2}^2 / 2_{n2}) \quad (E-7)$$

então:

$$\mu_y = \frac{1}{\ln(10)} (\mu_{Y_1} - \mu_{Y_2}) \quad (E-8)$$

e:

$$\delta_Y = \frac{1}{\ln(10)} \left(\delta_{Y_1}^2 + \delta_{Y_2}^2 \right)^{1/2} \quad (\text{E-9})$$

O primeiro e o segundo momentos de E-6 e E-7 são dados por funções digama e trigama (11):

$$\mu_{Y_1} = \Psi(n_1) - \ln(n_1) \quad \text{e} \quad \delta_{Y_1} = \Psi'(n_1) \quad (\text{E-10})$$

$$\mu_{Y_2} = \Psi(n_2) - \ln(n_2) \quad \text{e} \quad \delta_{Y_2} = \Psi'(n_2) \quad (\text{E-11})$$

As expansões assintóticas de Ψ e Ψ' são (11):

$$\Psi(n) - \ln(n) = \frac{1}{2n} - \frac{1}{12n^2} + \frac{1}{120n^4} - \frac{1}{256n^6} + \dots \quad (\text{E-12})$$

$$\Psi'(n) = \frac{1}{n} + \frac{1}{2n^2} + \frac{1}{6n^3} - \frac{1}{10n^5} + \frac{1}{42n^7} - \frac{1}{30n^9} \quad (\text{E-13})$$

As expressões necessárias ao cálculo da média e variância de DV são uma extensão das que foram usadas para D_{1V} :

$$DV = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r Z_i \quad (\text{E-14})$$

Onde:

$$Z = -\log \left[\frac{P_1(f)}{P_2(f)} \right]^2 = Y^2 \quad (\text{E-15})$$

Assim, pelo Teorema do Limite Central:

$$\mu(DV) = \mu_Z \quad (\text{E-16})$$

.../.

e:

$$\delta (DV) = \frac{\delta^2}{r} \quad (E-17)$$

como:

$$\mu_z = E(Z) = E(y^2) \quad (E-18)$$

onde $E(\)$ é o operador expectância:

$$\mu_z = E[(y - \mu_y)^2 + 2y \cdot \mu_y^2 - \mu_y^2] \quad (E-19)$$

$$\mu_z = E[(y - \mu_y)^2] + 2\mu_y E(y) - \mu_y^2 \quad (E-20)$$

$$\mu_z = \delta_y^2 + \mu_y^2 \quad (E-21)$$

$$\delta_z^2 = E[(Z - \mu_z)^2] = E\left\{ \left[y^2 - (\delta_y^2 + \mu_y^2) \right]^2 \right\} \quad (E-22)$$

$$= E\left\{ (y - \mu_y)^2 + [2\mu_y (y - \mu_y) - \delta_y^2]^2 \right\} = \quad (E-23)$$

$$= E\left\{ (y - \mu_y)^4 + 4\mu_y (y - \mu_y)^3 - 2\delta_y^2 (y - \mu_y)^2 + [2\mu_y (y - \mu_y) - \delta_y^2]^2 \right\} = \quad (E-24)$$

$$= \frac{\overline{y^4}}{C} + 4\mu_y \cdot \frac{\overline{y^3}}{C} - 2\delta_y^4 + E\left[4\mu_y^2 (y - \mu_y)^2 - 4\mu_y \delta_y^2 (y - \mu_y) + \delta_y^4 \right] \quad (E-25)$$

$$\delta_z^2 = \frac{\overline{y^4}}{C} + 4\mu_y \frac{\overline{y^3}}{C} - \delta_y^4 + 4\mu_y^2 \delta_y^2 \quad (E-26)$$

.../.

A média e variância de Y podem ser conseguidas expressões obtidas para DIV , no entanto, as expressões para o 3º e 4º momentos centrais de Y precisam ser calculados. Por definição:

$$\overline{Y^4}_C = E (y - \mu_y)^4 = \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^4 \cdot E [(Y_1 - \mu_{y1})^4 - (Y_2 - \mu_{y2})^4] \quad (E-27)$$

fazendo:

$$\delta_{y1} = Y_1 - \mu_{y1} \quad (E-28)$$

e:

$$\delta_{y2} = Y_2 - \mu_{y2} \quad (E-29)$$

então:

$$\overline{Y^4}_C = E (\delta_{y1} - \delta_{y2})^4 \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^4 \quad (E-30)$$

Assumindo que Y_1 , e Y_2 são independentes:

$$= E (\delta_{y1}^4 - 4\delta_{y1}^3\delta_{y2} + 6\delta_{y1}^2\delta_{y2}^2 - 4\delta_{y1}\delta_{y2}^3 + \delta_{y2}^4) \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^4 \quad (E-31)$$

$$\overline{Y^4}_C = (\overline{Y^4}_{1c} + 6\sigma_{y1}^2\delta_{y2}^2 + \overline{Y^4}_{2c}) \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^4 \quad (E-32)$$

Da mesma maneira:

$$\overline{Y^3}_C = E [(\delta_{y1} - \delta_{y2})^3] \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^3 \quad (E-33)$$

../,

$$\overline{Y_c^3} = E (\delta_{v_1}^3 - 3\delta_{v_1}^2, \delta_{v_2} + 3\delta_{v_1}, \delta_{v_2}^2 - \delta_{v_2}^3) \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^3 \quad (E-34)$$

$$\overline{Y_c^3} = (\overline{Y_{1c}^3} - \overline{Y_{2c}^3}) \left(\frac{1}{\ln(10)} \right)^3 \quad (E-35)$$

As funções $\overline{Y_{1c}^3}$, $\overline{Y_{2c}^3}$, $\overline{Y_{1c}^4}$, $\overline{Y_{2c}^4}$ também são definidas em termos

de funções poligama(11):

$$\overline{Y_{1c}^3} = \psi^{11}(n_1) \quad \overline{Y_{2c}^3} = \psi^{11}(n_2) \quad (F-36)$$

$$\overline{Y_{1c}^4} = \psi^{111}(n_1) + 3\sigma_{v_1}^4 \overline{Y_{2c}^4} = \psi^{111}(n_2) + 3\sigma_{v_2}^4 \quad (F-37)$$

Tais funções também possuem expansões assintóticas, dadas por:

$$\psi^{11}(n) = -\frac{1}{n^2} - \frac{1}{n^3} - \frac{1}{2n^4} + \frac{1}{6n^6} - \frac{1}{6n^8} + \frac{3}{10n^{10}} - \dots \quad (F-38)$$

$$\psi^{111}(n) = \frac{2}{n^3} + \frac{3}{n^4} + \frac{2}{n^5} - \frac{1}{n^7} + \frac{4}{n^9} - \frac{3}{n^{11}} + \dots \quad (F-39)$$

O procedimento de cálculo pode ser resumido assim:

1. Calcular os valores numéricos de μ_{v_1} , μ_{v_2} , σ_{v_1} , σ_{v_2} , $\overline{Y_{1c}^3}$, $\overline{Y_{2c}^3}$,

$\overline{Y_{1c}^4}$ e $\overline{Y_{2c}^4}$ usando (E-10, E-11, E-12, F-13) e (F-36, E-37, F-38 e

E-39).

2. Calcular $\mu_{\bar{y}}$, $\sigma_{\bar{y}}$, $\overline{y^3_c}$ e $\overline{y^4_c}$ - usando os valores calculados acima e (E-8, E-9, E-35, E-32).
3. Calcular μ_z por E-21 e σ_z por E-26.
4. Calcular $\mu(D_{iv})$ usando (E-3), $\sigma_{(Div)}$ usando (E-4), $\mu(nv)$ usando (F-16) e $\sigma(nv)$ usando (E-17).

APÊNDICE F

Nesse apêndice são mostradas as especificações fornecidas pelos fabricantes para os diversos equipamentos usados.

F-1) Conversão analógico-digital (CAD).

- a) modelo-ADF-11
- b) fabricante-Digital Equip. Corp.
- c) especificações:
 - 1) Tensões lógicas: 0-3V (TTL).
 - 2) Modo de transferência: a controle de programa ou acesso direto à memória (ADM).
 - 3) Modos de operação: canal simples, canais sequenciais.
 - 4) Código na saída: binário, lido da esq. para a direita.
 - 5) Temperatura para operação: de + 10°C a + 40°C.
 - 6) Umidade relativa: de 20% a 95% (sem condensação).
 - 7) Resolução: 10 bits ou 1 parte em 1024.
 - 8) Ganho na entrada: Selecionado pelo programa - 1,2,4 e 8.
 - 9) Escalas de tensão na entrada (conforme o ganho): 0-10V, 0-5V, 0-2,5V e 0-1,25V.
 - 10) Impedância de entrada: 10MΩ // 50 pF.
 - 11) Precisão do sistema: 0,07% + 1/2 BMS (Bit menos significante) para o fundo de escala na entrada.
 - 12) Número de canais analógicos na entrada : 4 no mínimo, expansíveis a 64 em grupos de 4 ou 512 usando o expensor AMX2.
 - 13) Isolamento da entrada-feito com "chaves MOSFET" tipo enriquecimento.
 - 14) Coeficiente de temperatura: $\pm 0,004\%/^{\circ}\text{C}$ para o fundo de escala usado na entrada.
 - 15) Reprodutibilidade (intervalo de confiança de 3σ) - as conversões estão dentro de ± 1 contagem da média para ganhos de 1,2,4 e ± 2 para um ganho de 8.

16) Banda passante por canal: 60 kHz
(modo sequencial)

17) Disparo externo:

17.1) Limites: Superior - > +1,7V

Inferior - < +1,1V

17.2) Excursão de sinal: entre 0 e 10V

17.3) Carregamento: 2,7 K-Ω a 5V ou 1,8mA para a terra

18) Velocidade de conversão.

18.1) Impedância de carga: 1 KΩ no máximo

18.2) Canal simples (modo ADM): 180 kHz

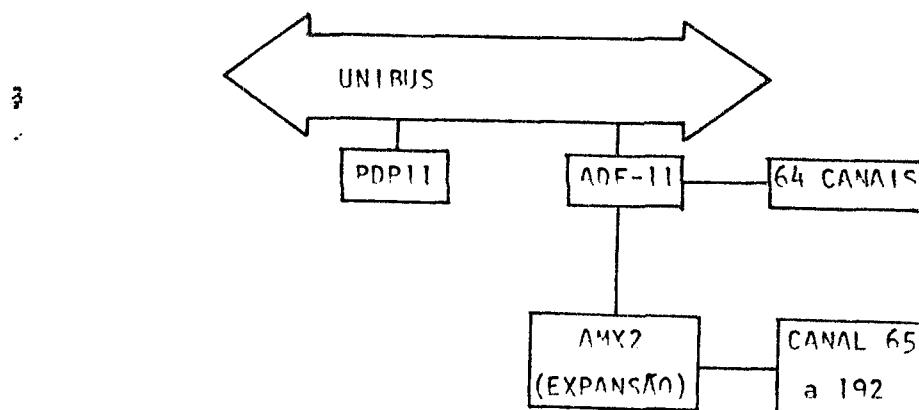
18.3) Canais sequenciais (modo ADM): 125 kHz

18.4) Canais sequenciais (modo controle de programa*): 80 kHz

*depende do algoritmo de "software"

19) Total de canais disponíveis: 192

d) Diagrama de blocos



e) Canal usado: nº 29.

F-11) Filtro.

a) modelo - GR1952 Universal Filter

b) fabricante - General Radio Co.

c) Especificações

- 1) Frequência de corte, 1.1) faixa: de 4Hz a 60kHz, ajustável em 4 modos; Passa-baixa, Passa-alta, Passa-banda, Rejeita-banda.
1.2) Resposta em alta frequência, dentro de $\pm 0,2\text{dB}$, se estende a 300kHz e é válida para os modos passa-alta, e rejeita-banda.
- 2) Controles: 2.1) Ajuste de frequência; com dial log.
2.2) Precisão: $\pm 2\%$ na frequência de corte (nos pontos de -3dB)
- 3) Filtros: 3.1) Filtros Chebyshev de 4ª ordem (quatro polos); a variação nominal na magnitude, para a banda não atenuada é de $\pm 0,1\text{dB}$;
3.2) Atenuação nominal na frequência de corte é de -3dB;
3.3) Taxa inicial de atenuação é de 30dB/oitava. 3.4) Banda de Passagem mínima: 26% (ou 1/3 oitava).
- 4) Entrada. 4.1) Ganho de 0 ou -20dB, selecionado por chave.
4.2) Impedância de entrada - 100k Ω , com acoplamento AC ou DC. A freq. de corte (-3dB) para um acoplamento AC é de 0,7Hz .
- 5) Tensões de entrada: 5.1) para acoplamento DC $\pm 4,2\text{Vpp}$, com atenuação de 20dB $\pm 42\text{Vpp}$; 5.2) acoplamento AC $\pm 4,2\text{Vpp}$ (3Vrms), com atenuação de 20dB $\pm 42\text{Vpp}$ (3Vrms).
- 6) Saída: 6.1) Impedância de saída - 600 Ω , qualquer carga pode ser acoplada sem afetar a operação linear do circuito de saída. 6.2) Coeficiente de temperatura entre 0 e + 4m V/°C.
- 7) Ruído: < 100 μV para uma banda passante de 50kHz
- 8) Distorção: a máxima distorção harmônica, para todas as componentes dentro da banda passante e para uma carga linear é menor que 0,25%.

d) Uso típico: Passa-baixa, freq. de corte de 300Hz, entrada: DC sem atenuação.

F-III) Gerador Senoidal digital

- a) Modelo: 5100-Programmable Frequency Synthesizer.
- b) Fabricante: Rockland Systems Co.
- c) Especificações:

1) banda de frequências: 10^{-3}Hz a $2 \times 10^9\text{Hz}$.

- 2) Resolução de frequência: $0,001\text{Hz}$ em toda a banda de frequência.
 - 3) Padrões internos: Estabilidade em temperatura $\pm 1.10^{-6}$ de 0°C a 50°C .
Taxa de envelhecimento: $\pm 5.10^{-6}$ /ano
 - 4) Sinais de saída:
Saída fixa: $\sim 1\text{Vpp}$ com carga de 50Ω
Atenuador: 0 a 85dB em degraus de 1dB.
Controle de nível: controle contínuo do sinal de saída de 0 a 10dB (relativo ao nível fixado no atenuador).
 - 5) Desvio fracional no valor RMS do sinal de saída ($0,001\text{Hz}$ a 100kHz):
médias de 10ms - 5.10^{-7}
médias de 1s - 5.10^{-9}
 - 6) Ruído de fase: ($0,001$ a 10kHz) para uma banda de 30kHz excluído 1Hz centrado na portadora = -50dB.
 - 7) Componentes espúrias ($0,001$ a 100kHz) : -70dB.
 - 8) Componentes harmônicas ($0,001$ a 100kHz) / para 1Vrms na saída: -55dB/na tensão máxima de saída: -55dB.
 - 9) Resposta de frequência ($0,001$ a 100kHz) / para a tensão de saída máxima, sem carga: $\pm 2,5\text{dB}$ / carga de 50Ω : $\pm 2,5\text{dB}$.
- d) Valores usados: freq. de 300Hz , 3Vpp (com circ. aberto), atenuações de 0,15,30 e 45dB.

F-IV) Osciloscópio:

- a) modelo - 551 - Dual beam osciloscópio
- b) fabricante - Tektronix, Inc.
- c) Especificações:
 - 1) Características de entrada.
 - 1.1) Fator de deflexão (calibrado) - $0,05\text{V/cm}$ a 20V/cm e $0,005\text{V/cm}$ a 2V/cm .
 - 1.2) Banda passante: DC - de DC a 25Hz
AC - de 2Hz a 25Hz
AC 10 - de 3Hz a 22MHz
 - 1.3) Tempo de subida: $0,014\mu\text{s}$ e $0,016\mu\text{s}$
 - 1.4) Impedância de entrada: $1\text{M}\Omega$ em paralelo com 20nf
 - 2) Atenuador: (Chave V/cm): precisão dentro de 3% do valor nominal para todas as escalas.

- d) Uso t nico: ajuste de tensões dos geradores senoidais e DC, leitura do período de batimento T_{BAT} .

F-V) Gerador Senoidal:

- a) modelo: FG501- Function Generator
 b) fabricante: Tektronix Inc
 c) Especifica es:

- 1) As fun es geradas com baixa distor o são: senoidal, ondas quadradas, triangulares, pulsos e rampas.
 - 2) Temperatura de opera o: de 0 a $\pm 50^{\circ}C$.
 - 3) Amplitudes: 15Vpp a circuito aberto; 7,5Vpp em uma carga de 50 Ω
 - 4) Nível DC; $\pm 5V$ para circuito aberto; $\pm 2,5V$ em uma carga de 50 Ω
 - 5) Resolu o em frequência: 1 parte em 10^4 para o fundo de escala.
 - 6) Faixa coberta pelo dial (porão calibrada) e precisão: de 1 a 10 com precisão de 3% para o fundo de escala
 - 7) Simetria no período: dentro de 1% de 0,001Hz a 1MHz e de 20 $^{\circ}C$ a 50 $^{\circ}C$.
 - 8) Estabilidade em frequência e amplitude (incluindo o nível DC).
 - 8.1) Temperatura dentro de 2% de 0,1Hz a 1MHz.
 - 8.2) Tempo: dentro de 0,5% para 10 minutos e dentro de 5% para 24 horas.
 - 9) Saída com fun o seno: distor o de 1% para faixa de 0,001Hz a 1Hz, menor que 0,5% de 1Hz a 20kHz e 1% de 20kHz a 100kHz (válido para temperaturas entre 10 e 40 $^{\circ}C$).
- d) Valores usados: $f = 300Hz$, 3Vpp (fixado para circuito aberto), nível DC de $+ 2,5V$ (c rc. aberto).

F-VI) Fonte DC:

- a) modelo: 30-05A = Fonte estabilizada
 b) fabricante: Br sele S/A.
 c) Especifica es:

- 1) Tensão de saída: de 0 a 30V em 2 escalas
- 2) Corrente de saída: de 0 a 500mA
- 3) Regulação de linha: 0,3% ou 30mV para variações da Tensão de entrada nominal em $\pm 10\%$, de 0 a 500mA.
- 4) Regulação de carga: melhor que 0,3% ou 30mV para Tensão de entrada nominal em $\pm 2\%$.
- 5) Estabilidade: 0,1% por hora ou 0,3% por dia para;
 - Tensão de entrada nominal em $\pm 0,2\%$
 - Temperatura ambiente: $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.
 - Tempo de pré-aquecimento maior que 2 horas.
- 6) Componentes de ondramento e ruído- menores que 3mVpp para:
 - Tensão de entrada nominal $\pm 10\%$
 - carga na saída de 0 a 500mA
- 7) Impedância de saída - menor que $50\text{m}\Omega$ em DC
- 8) Temperatura ambiente - máxima de 40°C .
- 9) Tensões nominais de entrada: 110V_{AC} , 117V_{AC} ; 127V_{CA}
 220V_{AC} , 234V_{CA} , 254V_{CA}

d) Valor usado - 2,0V

Após a saída for usada uma terminação atenuadora de 5X, 50Ω da Tektronix, e esse é o valor obtido após a terminação.

F-VII) Disparador:

- a) modelo - PG508 - 50MHz Pulse Generator
- b) fabricante - Tektronix Inc.
- c) Especificações:

1) Período:

- 1.1) Faixa: $\leq 20\mu\text{s}$ a $\geq 200\mu\text{s}$ em sete escalas mais ajuste contínuo, com sobreposição em todas as escalas.
- 1.2) "JITTER": $\leq 0,1\% + 50\text{ps}$ (pico seg.)

- 2) Durações dos pulsos.
- 2.1) Faixa: de $\leq 10\mu s$ a $\geq 100\mu s$ em sete escalas mais ajuste contínuo e sobreposição em todas elas.
- 2.2) Fator de trabalho: Durações de pulso até (nelo menos) 70% do período, para pulsos com período $\geq 0,2\mu s$, decrescendo a 50% para um período de $20\mu s$.
- 2.3) "JITTER": $\leq 0,1\% + 50ps$
- 3) Características dos Pulsos na saída.
- 3.1) Tempo de transição - independentemente ajustável, comandando e seguindo do tempos de transição $\leq 5\mu s$ a $\geq 50\mu s$, medidos entre os pontos de 10% e 90%, em seis escalas mais ajuste contínuo.
- 3.2) Linearidade na transição: Desvio $\leq 5\%$ para uma linha reta entre os pontos de 10% e 90%.
- 3.3) Amplitude: Os níveis superior e inferior dos pulsos não ajustados independentemente em uma faixa de $\pm 20V$. A amplitude máxima dos pulsos para uma carga de 50Ω é $\leq 10V_{pp}$ e a mínima é $\leq 0,5V_{pp}$. A amplitude máxima em circuito aberto é $\geq 20V_{pp}$ e a mínima é $1,0V_{pp}$.
- 3.4) Aberrações: $\leq 5\% + 50mV$ para pulsos com níveis entre $\pm 5V$ e uma carga de 50Ω . Pode aumentar para $\leq 10\% + 50mV$ para níveis de pulsos fora desta faixa.
- 4) Nível de disparo (interno)
- 4.1) Polaridade - selecionada no painel frontal, declividade + ou -
- 4.2) Faixa: de $-3Va + 3V$

d) Valores usados: Nível de disparo $+3V$

Período : escala de $5KHz$

Tempo de transição: $50\mu s$

F-VIII) Gravador de FM

- a) modelo: HP 3960 - Instrumentation Tape Recorder.
- b) fabricante: Hewlett Packcard
- c) especificações:
- 1) nº de canais: FM: 4
- 2) nº de cabeças: 4 gravadoras e 4 reprodutoras

- 3) Precisão nas velocidades da fita: $\pm 0,2\%$.
- 4) Banda passante (7 1/2 pol. por seg.) : 0,2Hz a 1250Hz - dentro de ± 1 dB
- 5) Nível de "Flutter" (7 1/2pps): 0,35% da tensão que é reproduzida.
- 6) Frequência da portadora (7 1/2pps) 13,5KHz
- 7) Relação sinal / ruído (7 1/2pps) ± 48 dB (RMS/RMS)
- 8) Distorção: $< 2,0\%$ de 1,5 a 15/16pps
- 9) Linearidade: $\pm 1\%$ da Tensão pp que é reproduzida para uma linha reta que passa em zero.
- 10) Flutuação DC: $\pm 0,1\%$ da Tensão pp reproduzida/ $^{\circ}$ C
- 11) Nível de saída: 0,5Vpp ajustáveis, para uma carga mínima de 600 Ω
- 12) Impedância de saída: 140 Ω máx.

d) Uso típico: canal 1- reprodução; velocidade de 7 1/2pps.

F-IX) Frequencímetro:

a) modelo: HP5300A- Measuring System

b) fabricante: Hewlett Packard

c) especificações:

- 1) base de tempo: osciladora cristal em 10MHz
- 2) Estabilidade do oscilador.
 - 2.1) Taxa de envelhecimento < 3 partes em 10^7 por mês.
 - 2.2) Temperatura $< \pm 5$ partes em 10^6 , 0° C a 50° C.
 - 2.3) Tensão nominal $< \pm 1$ parte em 10^7 para 10% de variação na Tensão de linha.
- 3) Taxa de amostragem: variável continuamente de menos que 50 μ s a \sim 50s.
- 4) Mostrador: 6dígitos tipo LED
- 5) Faixa de frequências: de 10Hz a 10MHz
- 6) Sensibilidade: 150mVpp para pulsos de duração mínima de 50mseg.
- 7) Impedância: 1M em paralelo com 30pf
- 8) Precisão: ± 1 contagem \pm precisão da base de Tempo
- 9) Ordens de grandeza (para medida de frequência): Hz, kHz, MHz.

d) Uso típico: medida de frequências na faixa de kHz.

F-X) Gerador de ruído branco

a) modelo: HP 8057A- Precision Noise Generation

b) fabricante: Hewlett Packard

c) especificações:

1) Impedância de saída: 50Ω e 600Ω

2) Tipo de ruído: ruído branco, e ruído "rosa" (rampa em frequência)

3) amplitudes: variável em degraus de 0,1dB, de 0dB μ V a 129,9dB μ V

d) Valores usados: ruído branco, impedância de 50Ω ; 110dB e 130dB.

OBS: Esse manual não estava disponível, as especificações foram tiradas do painel frontal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AKCASU, A.Z. Measurement of power spectra by Fourier analysis. J. appl. Phys., 32(4):565-8, Apr. 1961.
2. BARTLETT, M.S. Periodogram analysis and continuous spectra. Biometrika, 37(1-2):1-16, Jun. 1950.
3. BEHRLINGER, K.; KOSTIC, L.J.; SEIFRITZ, W. Observation of in-core instruments tube vibrations in a boiling water reactor by evaluating reactor noise data. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):183-5, 1977.
4. BENDAT, J.S. & PIERSON, A.G. Random data: analysis and procedures. New York, N.Y., Wiley, 1971
5. BLAKE, M.C. New vibration standards for maintenance. Hydrocarb Process., 43(1):111-4, Jan. 1964.
6. CLARK, M.T. Word recognition by means of orthogonal functions. IEEE Trans. Audio Electroac., 18(3): 304-12, Sept. 1970
7. COCHRAN, W.T.; COOLEY, J.W.; FAVIN, D.L.; HELMS, M.D.; KAENEL, R.A.; LANG, W.W.; MALING, G.C.; NELSON, D.E.; RADER, C.M.; WELCH, P.D. What is the fast Fourier transform. IEEE Trans. Audio Electroac., 15(2): 45-55, Jun. 1967.
8. COHN, C.E. Fast-reactor noise analysis with an on-line digital computer. Trans. Am. nucl. Soc., 10(1):285-6, Jun. 1967.

9. COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES. On-load surveillance of nuclear power plant components by noise and vibration analysis. Luxemburg, May 1974. (EUR-5036e)
10. COOLEY, J.W.; LEWIZ, P.A.W.; WELCH, P.D. Historical notes on the fast Fourier transform. IEEE Trans. Audio Electroac., 15(2):76-9, Jun. 1967.
11. DIGITAL. Introduction to RSX11M. Maynard, Mass, 1977.
12. DIGITAL. I/O drivers reference manual. Maynard, Mass, 1977.
13. DIGITAL. Pheripherals handbook. Maynard, Mass, 1976.
14. DIGITAL. RSX11M - System generation manual. Maynard, Mass, 1977.
15. DIGITAL. RSX11M - Task builder reference manual. Maynard, Mass 1977.
16. DIO, W.H.; STOELBEN, H.; BASTL, W.; WACH, D.; RAIBLE, B. On-line surveillance of LWR primary systems. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):747-58, 1977.
17. FRY, D.N. Experience in reactor malfunction diagnosis using on-line noise analysis. Nucl. Technol. 10:273-82, Mar. 1971.
18. FRY, D.N. & ROBINSON, J.C. Neutron density fluctuations as a reactor diagnostic tool. In: EPPLER, E.P. & ROUX, D.P. Incipient failure diagnosis for

assuring safety and availability of nuclear power plants: conference proceedings, Gatlinburg, Tennessee, October 30 - November 1, 1967. Oak Ridge, Tenn., U.S. Atomic Energy Commission, Jan. 1968. p. 89-101. (CONF-671011).

19. FRY, D.N.; KRYTER, R.C.; ROBINSON, J.C. Analysis of neutron density oscillations resulting from core barrel motion in Palisades nuclear plant. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., May, 1974. (ORNL-TM-4570).
20. FUKUNISHI, K.; IZUMI, M.; KATO, K.; KOBAYASHI, S. Noise analysis experience of a BWR power plant. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):73-84, 1977.
21. GONZALEZ, R.C.; FRY, D.N.; KRYTER, R.C. Results in application of pattern recognition methods to nuclear core component surveillance. IEEE Trans. nucl. Sci., 21(1):750-6, 1974.
22. GONZALEZ, R.C. & HOWINGTON, L.C. A multivariate statistical pattern recognition system for reactor noise analysis. IEEE Trans. nucl. Sci., 23(1): 342-9, 1976.
23. GOPAL, R. & CIARAMITARO, W. Experience with diagnostic instrumentation in Nuclear Power Plants. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):759-79, 1977.
24. HEWLITT PACKARD. Program reports on applications of Fourier analysis. Santa Clara, Calif., sem data. p. 140-1. (HP-50140-6).

25. HOLLAND, L. & BARRY, P. Discrete frequency identification using HP5451B Fourier analyser. São Paulo, Instituto de Energia Atômica, ago. 1977. (IEA-Inf.-58).
26. IZUMI, M. Application of fast Fourier transform algorithm to on-line digital reactor noise analysis. J. nucl. Sci. Technol., 8(4):236-9, Apr. 1971.
27. IZUMI, M. & IIDA, H. Application of on-line digital noise analysis to reactor diagnosis. J. nucl. Sci. Technol., 10(4):227-33, Apr. 1973.
28. JACKSON C. Vibration measurements on turbomachinery. Chem.Eng. Prog., 68(3):60-5, mar. 1972.
29. JAMES, R. & BLOCH, H.P. Predictive maintenance system improved at Exxon chemical plant. Oil Gas J., 7(4):531-42, Nov., 1965.
30. JAMES, R. & BLOCH, H.P. Predictive maintenance system improved at Exxon chemical plant. Oil Gas J., 74(5):59-64, Feb., 1976.
31. JONES, R.H. A reappraisal of the periodogram in spectral analysis. Tecthnometrics, 7(4):531-42, Nov., 1965.
32. KRYTER, R.C. Application of fast Fourier transform algorithm to on-line reactor diagnosis. IEEE Trans. nucl. Sci., 16(1):210-7, 1969.
33. KRYTER, R.C. & BULLOCK, J.B. Preliminary investigation of fast Fourier transform algorithm for on-line digital spectrum computations. Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge National Lab., Feb., 1968. (ORNL-4219).

34. KRYTER, R.C.; FRY, D.N.; GONZALEZ, R.C. Application of pattern recognition methods to core component surveillance. Trans. Am. nucl. Soc., 17:379-80, 1973.
35. MATHIS, M.V.; SMITH, C.M.; FRY, D.N.; DAILEY, M.L. Characterization studies of BWR-4 neutron noise analysis spectra. Prog. nucl. Energy, 1(2-4): 175-81, 1977.
36. MORROW, R.S. Why use minicomputers for vibration monitoring. Hydrocarb. Process., 54(10):125-6, Oct. 1975.
37. PEKRUL, P.J. An on-line computerized reactor noise vibration and loose parts monitoring system Prog. nucl. Energy, 1(2-4):665-6, 1977.
38. PEKRUL, P.J. Vibration monitoring increases equipment availability. Chem Engng (New York), 82(17):109-14, Aug., 1975.
39. PIETY, K.R. Comunicação pessoal.
40. PIETY, K.R. Statistical algorithm to perform automated signature analysis on power spectrum density data. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):781-802, 1977.
41. PIETY, K.R. & ROBINSON, J.C. An on-line reactor surveillance algorithm based on multivariate analysis of noise. Nucl. Sci. Engng, 59:369-80, 1976.
42. RANDALL, R.L. & PEKRUL, P.J. Applications of analog time and frequency correlation computers to reactor system analysis. In: UNITED STATES ATOMIC ENERGY

- COMMISSION. Neutron noise, waves and pulse propagation: proceedings of the symposium on... held in Gainesville, 14-16 February 1966. Oak Ridge, Tenn., 1966. Oak Ridge, Tenn., 1966. p. 357-80. (CONF-660206).
43. SAITO, K. A noise pattern library effort in Japan. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):713-21, 1977.
44. SINGLETON, R.C. & POULTER, T.C. Spectral analysis of the call of the male kill whale. IEEE Trans. Audio Electroac., 15(2):104-13, Jun., 1967.
45. THIE, J.A. Neutron noise sources in PWRs. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):283-92, 1977.
46. THIE, J.A. Reactor noise, New York, N.Y., Rowman and Littlefield, 1963.
47. THIE, J.A. Reactor noise monitoring for malfunctions. Reactor Technol., 14(4):354-65, 1971-1972.
48. TOLSTOV, G.P. Fourier series. Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1965.
49. TOU, J.T. & GONZALEZ, R.C. Pattern recognition principles. Reading, Mas., Addison-Wesley, 1974.
50. TUKEY, J.W. & COOLEY, J.W. An algorithm for the machine calculation of complex Fourier series. Maths. Comput., 19:297-301, Apr., 1965.
51. UHRIG, R:E. State of the art noise analysis in Power Plants. In: FREUND, G.A., compiladot. Water reactor safety: topical meeting on... held

in Salte Lake City, Utah, March 26-28, 1973. Oak Ridge, Tenn., U.S. Atomic Energy Commission, 1973. p. 426-49 (CONF-730304).

52. WELCH, P.D. The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: a method based on time averaging over short, modified periodograms. IEEE Trans. Audio Eletroac., 15(2):70-3, Jun., 1967.
- 53.. WILLIAMS, M.M.R. Random process in nuclear reators Oxford, Pergamon, 1974.
54. WILSON, D.S. & FRAREY, J.L. Automated machinery surveillance and diagnostics. Prog. nucl. Energy, 1(2-4):723-33, 1977.