



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
OBSERVATÓRIO DO VALONGO

TÍTULO

QUASI-QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA LIBERADA
POR BURSTS SOLARES EM 1.6 GHZ

AUTOR

FRANCISCO CARLOS ROCHA FERNANDES

ORIENTADOR

JORGE DE ALBUQUERQUE VIEIRA

PROJETO DE CONCLUSÃO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ASTRONOMIA

- 1989 -

DEDICATÓRIA

*" A todas as pessoas incríveis
que conheci através da Astronomia,
em particular:*

ANDRÉ GRINSZTEJN

e ANDRÉ MILONE.

(que possamos sempre nos encontrar) "

ÍNDICE

I - PALAVRAS - CHAVE	02
II - RESUMO	02
III - INTRODUÇÃO	03
IV - DESENVOLVIMENTO	
a) OS DADOS	06
b) FILTRAGEM DOS SINAIS	11
c) MÉTODO DE BLACK	17
d) PULSOS EMITIDOS	25
e) MODELO DO ÍNDICE DE MODULAÇÃO	54
V - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	62
VI - BIBLIOGRAFIA	64
VII - AGRADECIMENTOS	66
VIII - APÊNDICES	
APÊNDICE A - REGISTRO R0921	68
APÊNDICE B - REGISTRO R0920B	70
APÊNDICE C - PROGRAMA BLACK . PAS	72

I - PALAVRAS - CHAVE

Fluxo de Energia Solar
Micro-ondas
Técnicas de Filtragem
Correlação Cruzada
Estruturas Temporais
Quasi-quantização

II - RESUMO

Analisamos registros de fluxo de energia solar, na frequência de 1.6 GHz, na tentativa de identificar estruturas temporais (picos), com duração da ordem de dezenas de milissegundos e evidenciar, assim, uma quasi-quantização na liberação de energia durante eventos solares impulsivos. Utilizamos técnicas de filtragem (Filtro da Diferença e Método da Média Movente) e um método de correlação cruzada (Método de Black).

III - INTRODUÇÃO

Vários trabalhos têm sido publicados enfocando a questão da liberação de energia durante eventos solares impulsivos, com emissão de um elevado fluxo de energia, como é o caso dos "bursts" solares.

Observações recentes na faixa de rádio-frequências e também em raio-X duro, com alta resolução temporal, têm evidenciado a presença de estruturas temporais com duração da ordem de milissegundos, sugerindo que a emissão de energia dos "bursts" se dá através de rápidas injeções energéticas (pulsões de milissegundos). Este quadro caracteriza a "quasi-quantização" da energia liberada por "bursts" solares, que pode ser interpretada como uma sequência de pulsos elementares ultra-rápidos, com amplitudes mais ou menos semelhantes, compondo a estrutura global do burst emitido. de que?

A quasi-quantização foi discutida por Kaufmann et al. [1], para as frequências de 23.2 e 44.3 GHz e por Kaufmann [2] e Kaufmann et al. [3], para 22 e 44 GHz juntamente com observações em raio-X duro; estes trabalhos sugerem que a densidade média de fluxo, observada durante cada evento, é diretamente proporcional à frequência com que as rápidas estruturas temporais são emitidas (taxa de repetição).

Um aspecto importante no comportamento de tais estruturas elementares, é o fato de que elas ocorrem quasi-periodicamente, onde o conceito de quasi-periodicidade é descrito, em teoria de sistemas dinâmicos e caos, como um processo regido por superposição de padrões de frequências independentes [4]; no espaço de estados, se existe um "atrator" para descrever um fenômeno quasi-periódico, ele será um toro de dimensão igual ao número de frequências independentes. ?

Outro tipo de investigação que tem sido feita é a análise da correlação entre a ocorrência das pulsões observadas simultaneamente em raio-X duro e em micro-ondas; 22 e 44 GHz, por Kaufmann [2], Kaufmann et al. [5] e Takakura et al. [6] e 7 e 22 GHz por Kaufmann et al. [7], revelando que os pulsos observados em raio-X duro geralmente precedem os pulsos correspondentes em micro-ondas, enquanto que estes últimos geralmente estão em fase.

A quasi-quantização também foi evidenciada em frequências menores, só que em um número menor de trabalhos. Slottje [8], trabalhou com 2.65 GHz, sendo que 95% das estruturas ultra-rápidas, evidenciadas por ele, apresentavam duração à meia altura inferior a 40 ms e 72% dos intervalos entre picos sucessivos eram inferiores a 50 ms. Já Dröge [9], identificou, para o intervalo de 0.2-1.4 GHz, o que ele chamou de "estrutura fina" da radiação do burst solar, pulsações que apareciam distribuídas de forma mais ou menos regular.

Outra evidência da quasi-quantização foi dada por Elgaroy [10], observando emissão de fluxo de energia solar nas bandas de 305-340 MHz e 510-540 MHz, sendo que as pulsações por ele observadas apresentavam, para o intervalo de 300 MHz, um período médio de 90 ms e de 70 ms para o intervalo de 500 MHz.

Tapping [11], fez uma análise das medidas de densidade de fluxo de 14 bursts solares, em 140 MHz, onde ele define parâmetros como a taxa de repetição média e o índice de modulação dos pulsos quasi-quantizados e apresenta um possível mecanismo gerador deste tipo de emissão, baseado em pequenas oscilações radiais de um tubo de fluxo, próximas à base do loop coronal, causando variações cíclicas na intensidade do campo magnético, o que aumenta a distribuição angular do feixe de elétrons confinados.

Há ainda uma investigação, feita por Loran et al. [12], através da comparação entre observações e simulações numéricas, de que o perfil temporal dos bursts impulsivos é produto da superposição de pulsos de taxa de repetição variável a pulsos ultra-rápidos quasi-quantizados.

O interesse na comprovação (ou não) das hipóteses de quasi-quantização, está no fato deste resultado contribuir para o aprimoramento, cada vez maior dos modelos solares, pois servem para melhor ajustar, à realidade observada, as teorias que propõem mecanismos geradores da energia.

Elgaroy [10], cita alguns destes mecanismos: oscilações magnetoacústicas de tubos de fluxo na coroa solar, reflexões de feixes de partículas (ou ondas) confinados magneticamente, injeções pulsadas de feixes de partículas de alta velocidade ou ainda, instabilidade de onda produzindo algum mecanismo próprio; no entanto, ele afirma que a ocorrência de pulsações quasi-periódicas, com diferentes escalas de tempo, pode sugerir que mais de um mecanismo produza, simultaneamente, tais estruturas. Um mecanismo baseado no aquecimento adiabático é apresentado por Wiehl & Mätzler [13].

Esta breve introdução a cerca da questão da

quasi-quantização, apontando algumas constatações observacionais e suas implicações perante às teorias, tem como objetivo, apresentar o contexto no qual está inserido este projeto. No entanto, deve ficar claro que, neste trabalho, nos propomos a simplesmente analisar os fluxos de energia emitidos durante um evento solar impulsivo, com o intuito de testarmos as hipóteses de quasi-quantização e quasi-periodicidade desta energia liberada, sem entrarmos, todavia, em considerações teóricas a cerca dos possíveis processos produtores das estruturas quasi-quantizadas.

As duas principais inovações que este trabalho apresenta, estão no fato de que trabalhamos com registros de fluxo de energia solar numa frequência para a qual a análise de quasi-quantização não aparece na literatura; e que adaptamos e aplicamos um método de correlação cruzada, usado originalmente para localizar estruturas temporais em espectros de emissão nuclear, ou seja, nunca usado anteriormente no contexto da quasi-quantização da energia dos bursts solares acima referido.

IV - DESENVOLVIMENTO

a) OS DADOS

SÉRIES TEMPORAIS ORIGINAIS

Os dados analisados constituem dois registros distintos de fluxo de energia liberada pelo sol durante um evento precedente a um flare (fase pré-flare). [17]

Ambos os registros estão na forma de listagens (unidades arbitrárias de fluxo de energia) e foram obtidos pelo Radiômetro de Atibaia para pesquisa solar, na frequência de 1.6 GHz, com uma resolução temporal de 2 milissegundos (QUADRO 1).

QUADRO 1 - REGISTROS DE FLUXO ANALISADOS

REGISTRO	DATA	T.U.	TAMANHO DA SÉRIE	FREQ (GHz)
R0921	09/07/85	16:51:05	1002	1.6
R0920B	09/07/85	16:50:59	1015	1.6

Os registros R0921 (Fig. 1) e R0920B (Fig. 2) representam, respectivamente, a fase mais ativa e a fase mais calma, no que diz respeito à liberação de energia, da fase pré-flare analisada.

Estes dois registros foram escolhidos para a análise proposta, justamente porque representam os casos extremos da fase pré-flare; pode-se, com isso, investigar a quantização e periodicidade dos pulsos de energia emitidos para cada registro individual e ainda analisar a relação desta quantização e periodicidade com a intensidade total do fluxo de energia emitido durante o evento.

REGISTRO R0921 - FLUXO DE ENERGIA SOLAR
DADOS ORIGINAIS - 1.6 GHz

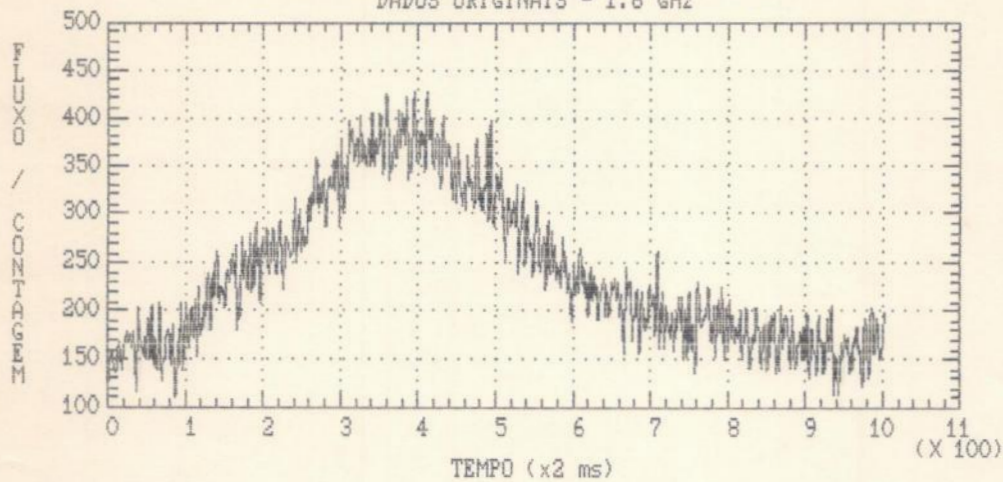


Fig. 1 - Registro R0921 de fluxo de energia solar na frequência de 1.6 GHz, com uma resolução de 2 milissegundos.

REGISTRO R0920B - FLUXO DE ENERGIA SOLAR
DADOS ORIGINAIS - 1.6 GHz

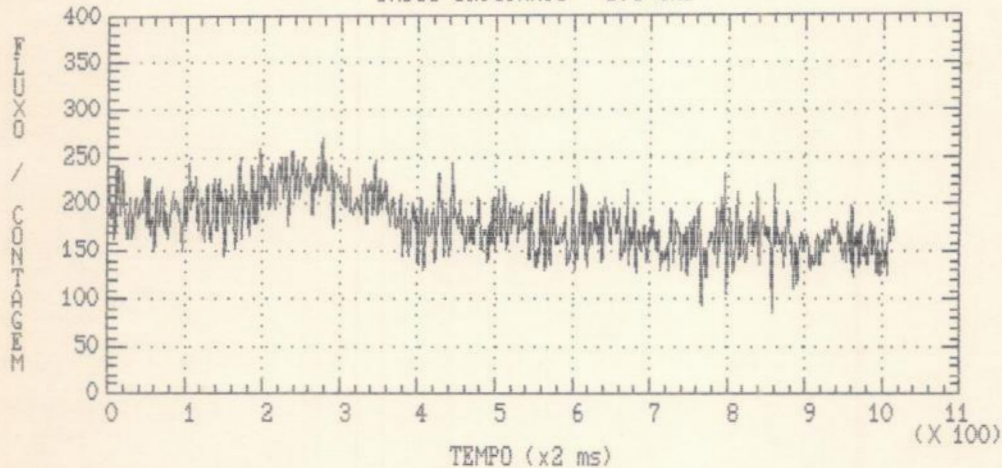


Fig. 2 - Registro R0920B de fluxo de energia solar na frequência de 1.6 GHz, com uma resolução de 2 milissegundos.

Os registros R0921 e R0920B são apresentados integralmente nos Apêndices A e B, respectivamente.

SÉRIES TEMPORAIS REDUZIDAS

O registro R0921, que apresenta o maior fluxo detectado na fase pré-flare, foi dividido em três séries temporais menores, para compararmos o comportamento de cada uma destas séries menores e observar se realmente existe alguma relação direta entre o fluxo total de energia, liberado em um certo intervalo de tempo, e os pulsos nele identificados (QUADRO 2).

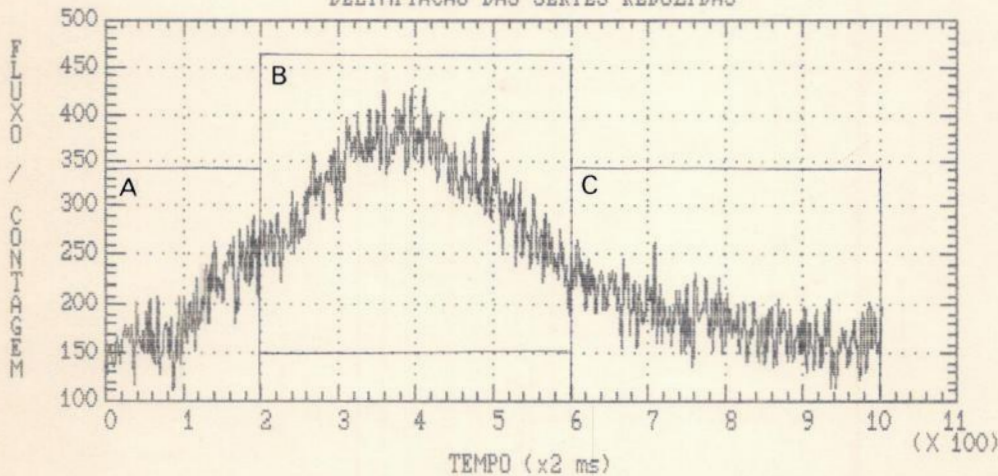
Existe?

QUADRO 2 - SÉRIES TEMPORAIS REDUZIDAS
(REGISTRO R0921)

SÉRIE REDUZIDA	INTERVALO (ms)
CAUDA ESQUERDA	0 - 400
FASE DE MÁXIMO	400 - 1200
CAUDA DIREITA	1200 - 2000

A Figura 3 mostra a delimitação das séries reduzidas, onde os quadriculos A, B e C representam, respectivamente, a Cauda Esquerda, a Fase de Máximo e a Cauda Direita da série original (registro R0921).

REGISTRO R0921 - 1.6 GHz
DELIMITAÇÃO DAS SÉRIES REDUZIDAS



As Figuras 4, 5 e 6 apresentam uma ampliação das séries temporais reduzidas.

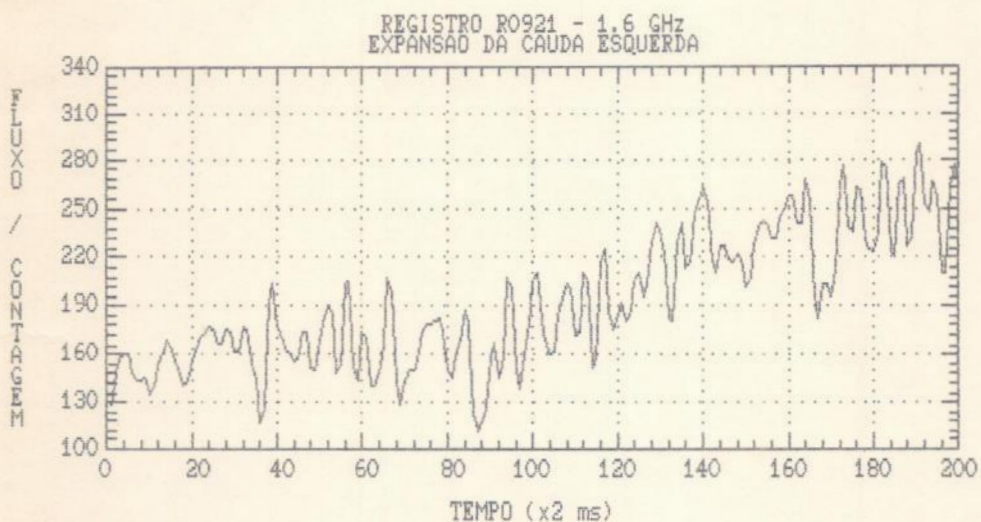


Fig. 4 - Expansão da Cauda Esquerda do registro R0921.

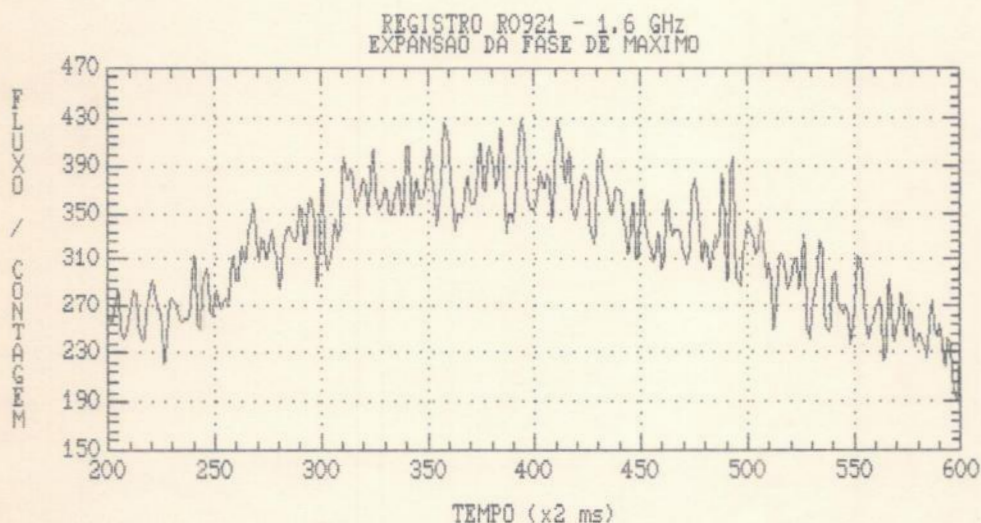


Fig. 5 - Expansão da Fase de Máximo do registro R0921.

REGISTRO R0921 - 1.6 GHz
EXPANSÃO DA CAUDA DIREITA

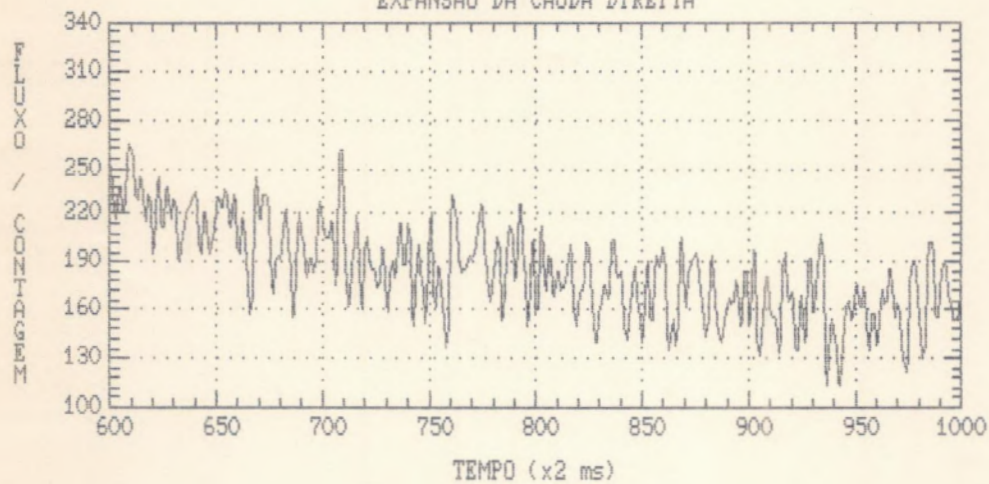


Fig. 6 - Expansão da Cauda Direita do registro R0921.

b) FILTRAGEM DOS SINAIS

Os dados originais, que constituem a tradução de um sinal, detectado através de um aparato instrumental, geralmente apresentam uma espécie de contaminação, devido a presença de flutuações aleatórias. Isto significa que os registros a serem analisados são constituídos, na verdade, de dois componentes: o sinal verdadeiro e o ruído.

É quase sempre impossível eliminar o ruído por completo; pode-se, no entanto, tratar o sinal original, com o intuito de diminuir a sua influência nociva, procurando sempre não comprometer a relação sinal/ruído, ou seja, o sinal deve ser filtrado desde que isso não implique em uma perda significativa de informação.

Vários processos são utilizados com a finalidade de "alisar" o sinal; dentre eles, escolhemos duas técnicas de filtragem, às quais submetemos os nossos dados originais: Filtro da Diferença e o Método da Média Movente.

FILTRO DA DIFERENÇA

O Filtro da Diferença [14], tem como objetivo eliminar a componente de baixa frequência do sinal original.

Seja $F(t)$, o valor do fluxo de energia detectado no instante t ; então a aplicação do filtro da diferença nos fornece uma nova série temporal, cujos termos são dados por

$$F_d(t) = F(t) - F(t-1) . \quad (1)$$

Deve-se notar que a nova série temporal, de acordo com (1), não possui o primeiro termo, $F_d(1)$, já que os dados são contados a partir do instante $t=1$. Por causa disso, adotamos como primeiro elemento da série de dados filtrados o valor zero.

Os resultados obtidos da aplicação do Filtro da Diferença aos dois registros de dados originais, R0921 e R0920B, são mostrados nas Figuras 7 e 8, respectivamente.

REGISTRO R0921 - 1.6 GHz
FILTRO DA DIFERENÇA

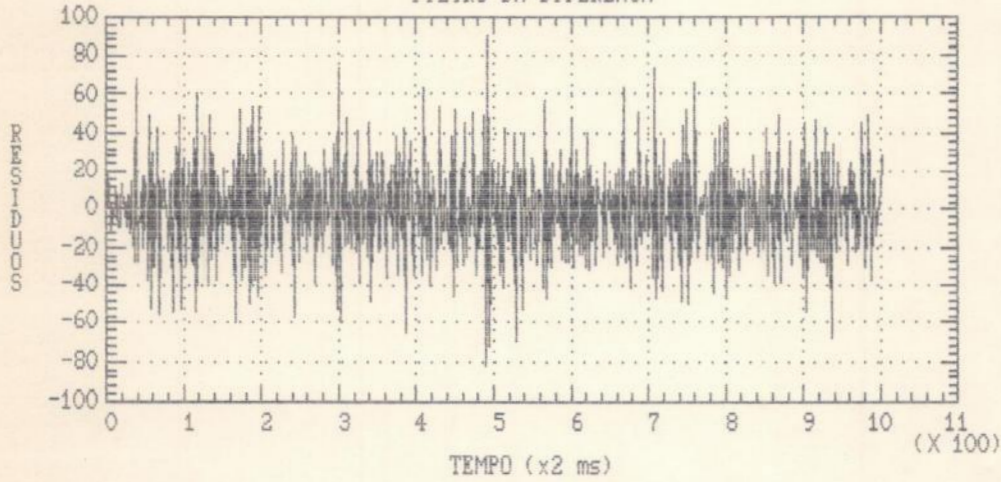


Fig. 7 - Filtro da
Diferença aplicado
em R0921.

REGISTRO R0920B - 1.6 GHz
FILTRO DA DIFERENÇA

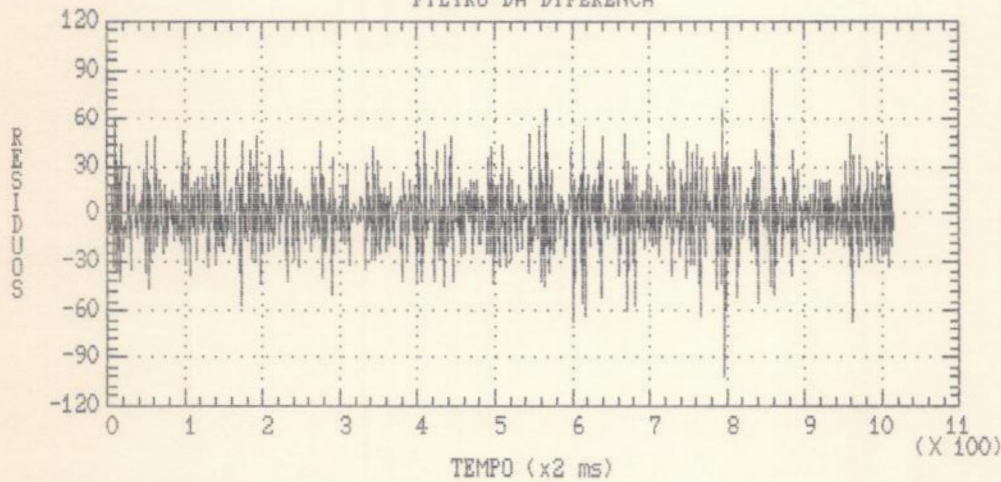


Fig. 8 - Filtro da
Diferença aplicado
em R0920B.

Apesar de termos aplicado o Filtro da Diferença, preferimos utilizar apenas os dados originais, sem qualquer filtragem, e aqueles alisados pelo Método da Média Movente, para que nossos dados estivessem compatíveis com a proposta de Black e os casos estudados por ele.

MÉTODO DA MÉDIA MOVENTE

O Método da Média Movente [15], consiste numa técnica de filtragem de séries temporais, que pode ser entendida da seguinte forma:

Se $F(t)$ expressa o fluxo de energia detectado no instante t , podemos escrever

$$F(t) = S(t) + E(t) , \quad (2)$$

onde " $S(t)$ " representa o verdadeiro sinal emitido e " $E(t)$ " representa o ruído associado a este sinal.

O verdadeiro sinal, $S(t)$, varia lentamente (monotonicamente) com o tempo, enquanto que o ruído, $E(t)$, compreende flutuações bruscas e aleatórias; em outras palavras, $S(t-1)$ e $S(t+1)$ devem apresentar, aproximadamente, o mesmo valor de $S(t)$, o que não ocorre com $E(t)$.

Por causa disso, se construirmos uma nova série temporal substituindo cada $F(t)$ pela média de $F(t-1)$, $F(t)$ e $F(t+1)$, devemos obter uma nova série cujo "tésimo" termo, $F_m(t)$, é, aproximadamente, $S(t)$ mais a média de $E(t-1)$, $E(t)$ e $E(t+1)$, devendo apresentar um nível de ruído menor que o da série original, já que o erro médio tende a ser menor que os erros individuais. Teremos, portanto, conseguido "alisar" nosso sinal original, sem comprometer demais a informação contida nele.

O procedimento descrito acima corresponde à aplicação do Método da Média Movente com 3 termos; podemos generalizar sua aplicação para m termos, utilizando a expressão (3).

$$F_m(t) = \frac{1}{m} \sum_{i=t-k}^{t+k} F(i) , \quad (3)$$

onde " $F_m(t)$ " corresponde ao m ésimo termo da série alisada, " m " ao número de termos com que deve ser calculada a média (utilizamos somente valores ímpares para m) e " k " é igual a $(m-1)/2$.

Os k primeiros e k últimos termos da série alisada, não podem ser obtidos de (3), por isso, usamos o seguinte artifício:

- o " k ésimo" termo foi obtido calculando a média entre o segundo e os $(m-1)$ primeiros termos da série original;
- o " $(k-1)$ ésimo" termo foi obtido pela média entre o segundo, o terceiro e os $(m-2)$ primeiros termos da série original; e assim sucessivamente até o cálculo do primeiro termo, o que dá origem a uma simetria dos k primeiros valores, em torno do primeiro termo.

Efetuamos o mesmo procedimento para os k últimos termos.

A seguir, apresentamos o resultado da aplicação do Método da Média Movente, com 5 e 7 termos, para os registros R0921 e R0920B (Figuras 9, 10, 11 e 12).

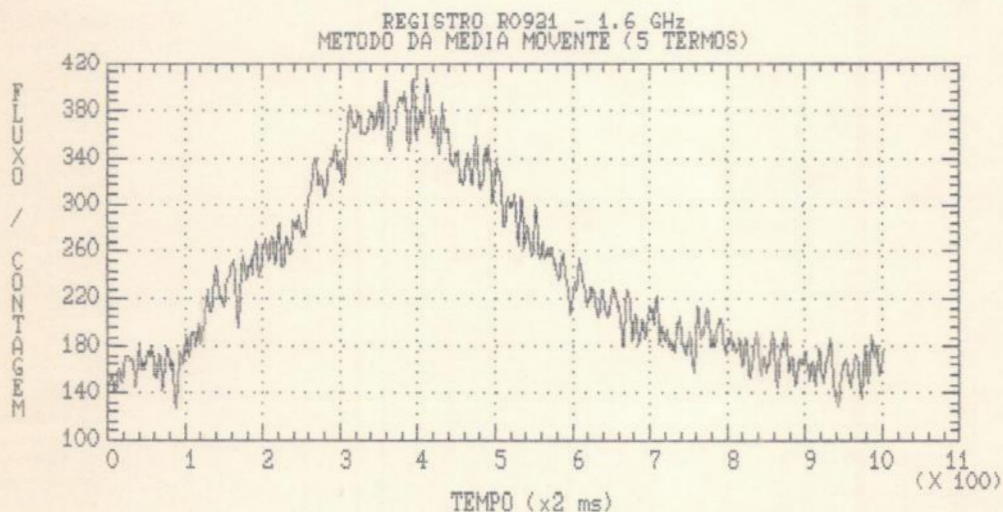


Fig. 9 - Registro R0921 alisado por média movente de 5 termos.

REGISTRO R0921 - 1.6 GHz
METODO DA MEDIA MOVENTE (7 TERMOS)

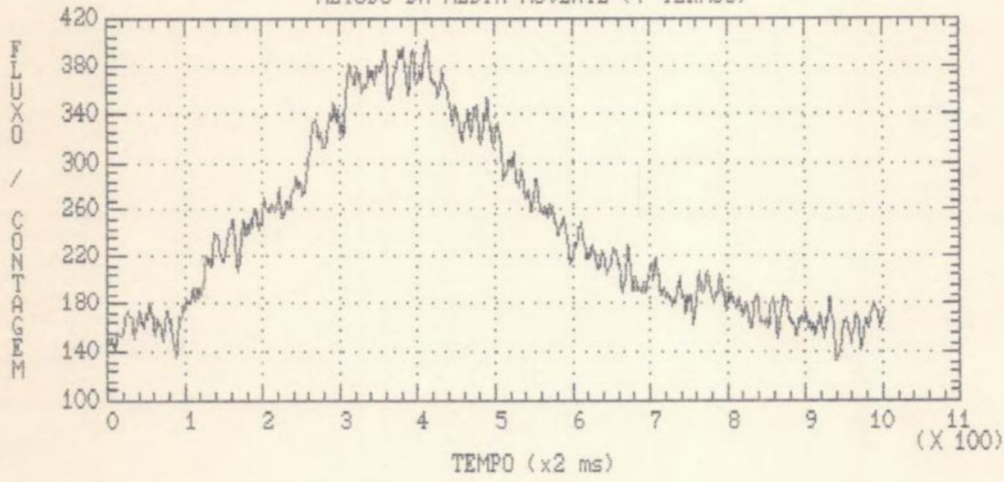


Fig. 10 - Registro R0921 alisado por média movente de 7 termos.

REGISTRO R0920B - 1.6 GHz
METODO DA MEDIA MOVENTE (5 TERMOS)

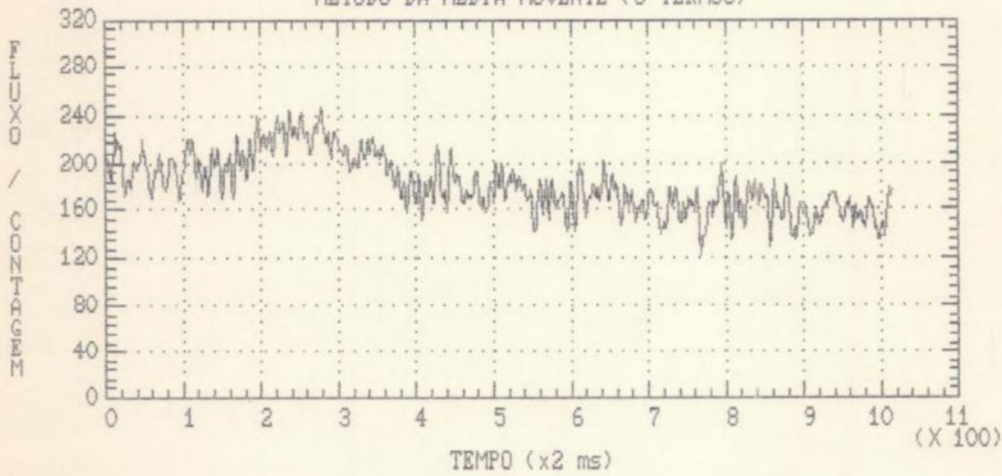


Fig. 11 - Registro R0920B alisado por média movente de 5 termos.

REGISTRO R0920B - 1.6 GHz
METODO DA MEDIA MOVENTE (7 TERMOS)

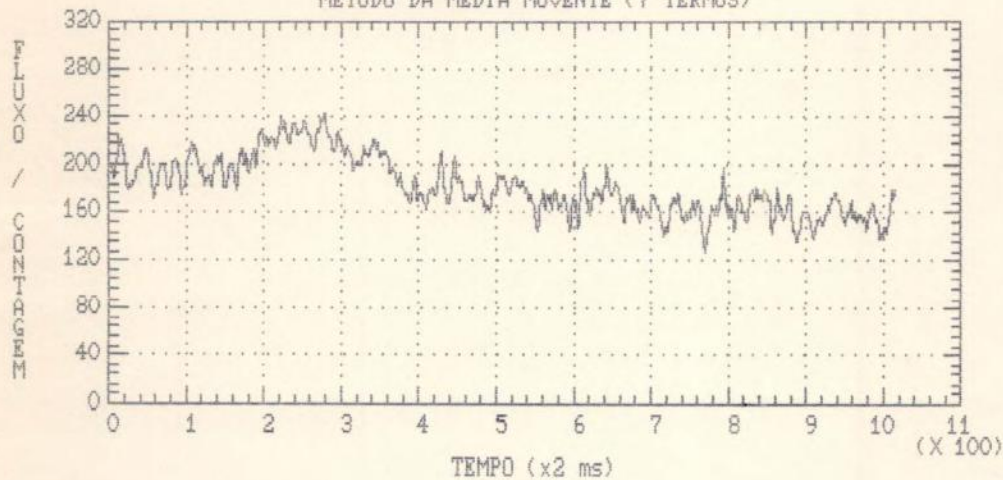


Fig. 12 - Registro R0920B alisado por média móvel de 7 termos.

Aplicamos também o alisamento por média móvel com 3, 9 e 11 termos, para cada um dos registros, porém os resultados obtidos são menos expressivos que aqueles apresentados aqui, isto devido ao fato de que, as séries temporais resultantes destes alisamentos, ou continuaram apresentando um nível de flutuação bastante elevado (média com 3 termos), ou tiveram suas verdadeiras estruturas quase que totalmente removidas (média com 9 e 11 termos).

c) MÉTODO DE BLACK

DESCRIÇÃO

W. W. Black propôs um método de correlação cruzada [16], por nós batizado de Método de Black, para localizar estruturas em dados experimentais, onde o termo estruturas corresponde a "picos" observados na série temporal dos dados originais.

O método consiste na obtenção de uma função de correlação, $C(\tau)$, a partir da correlação cruzada entre a função que representa os dados originais detectados, $g(t)$, e a que representa a forma das estruturas a serem evidenciadas, $f(t)$. A função de correlação $C(\tau)$ é, então, definida por

$$C(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} (1/2T) \int_{-T}^{+T} f(t) g(t+\tau) dt \quad (4)$$

e podemos assumir que

$$g(t) = a f(t) + r, \quad (5)$$

onde "a" é uma constante multiplicativa e "r" representa o ruído.

Algumas considerações para adaptarmos o método ao nosso caso:

- a) nossos dados originais são todos discretos;
- b) os dados são tomados sempre em intervalos finitos, então o limite pode ser desprezado;
- c) a integral pode ser aproximada por um somatório.

Assim, a função de correlação para o caso discreto ($C\tau$), pode ser aproximada para

$$C\tau = \sum_{t=0}^{N-1} f_t g_{t+\tau} , \quad (6)$$

onde "f_t" é a função de pesquisa, "g_t" é a série temporal dos dados originais e "N" é o tamanho da série original.

No entanto, a função de pesquisa possui um número de pontos diferentes de zero muito menor que o número total de pontos da série original, então substituímos a equação (6) por

$$C\tau = \sum_{t=0}^{M-1} f_t g_{t+\tau} , \quad (7)$$

onde "M" é a chamada largura da base da janela, igual ao número de pontos diferentes de zero que aparecem na função de pesquisa.

Para efetivamente localizarmos estruturas nos dados originais, devemos acentuar a presença destas estruturas na função de correlação e, ao mesmo tempo, remover flutuações aleatórias superpostas ao sinal original. O artifício utilizado por Black foi fazer

$$C\tau = \sum_{t=0}^{M-1} f_t [g_{t+\tau} - (A\tau + \sqrt{A\tau})] , \quad (8)$$

onde

$$A\tau = \frac{1}{M} \sum_{n=\tau}^{\tau+M-1} g_n . \quad (9)$$

Black pode usar (8) porque trabalhou com dados com distribuição de Poisson, onde a raiz quadrada da média é igual ao desvio padrão. Já os nossos dados não apresentam o mesmo tipo de distribuição, então devemos fazer uma alteração em (8), para introduzir o desvio padrão como é definido. Temos que

$$C\tau = \sum_{t=0}^{M-1} f_t [g_{t+\tau} - (A\tau + \sqrt{B\tau})] , \quad (10)$$

onde

$$B\tau = \frac{1}{M-1} \sum_{n=\tau}^{\tau+M-1} (g_n - A\tau)^2, \quad (11)$$

sendo o desvio padrão igual a $\sqrt{B\tau}$.

Desta forma, a função de correlação deve conter valores positivos e negativos. Os picos de valores positivos ocorrem quando a função de pesquisa se superpõe a (e identifica) uma estrutura (um pico), na série de dados originais. Quando isso não acontece, ou seja, a função de pesquisa não se reconhece, os valores de $C\tau$ são negativos.

Quanto mais a função de pesquisa se identifica na série temporal original, maior o valor de $C\tau$ para a posição correspondente. Acontece que cada valor de $C\tau$ da função de correlação está defasado de uma quantidade, batizada de "lag", que depende da largura da base da janela escolhida e é dada por

$$\text{lag} = \frac{M-1}{2}. \quad (12)$$

Então, um pico da função de correlação na posição τ , deve corresponder ao valor máximo de um pulso na série original, situado na posição $t = \tau + \text{lag}$.

GAUSSIANA DE PESQUISA

Como as estruturas procuradas nas séries temporais têm a forma de pulsos, a função de pesquisa, (f_t) , adotada foi uma distribuição gaussiana, que, de agora em diante, chamaremos de gaussiana de pesquisa. Assim

$$C\tau = N_0 \sum_{t=0}^{M-1} \exp \left[- \frac{(t-t_0)^2}{b} \right] [g_{t+\tau} - (A\tau + \sqrt{B\tau})], \quad (13)$$

onde " N_0 " é uma constante multiplicativa, " t_0 " foi definido como sendo igual ao lag e a largura à meia altura da gaussiana de

pesquisa (l_m) é dada por

$$l_m = 2b (\ln 2)^{1/2} \cdot \text{unidade?} \quad (ms) \quad (14)$$

Precisamos, portanto, fornecer apenas dois parâmetros para que o método seja aplicado: a largura da base da janela (M) e o parâmetro b , que dá a largura à meia altura da gaussiana de pesquisa (l_m).

APLICAÇÃO

Através de simulação, constatamos que o parâmetro b influencia diretamente na resolução; quanto maior b , menos aguda a gaussiana de pesquisa e menor a resolução; quanto menor b , mais aguda a gaussiana de pesquisa e maior a resolução; sendo que a escolha de b depende da estrutura dos dados. A simulação mostrou 0.8 - 1.2 como os melhores valores para o parâmetro b .

Já o parâmetro M "alisa" o ruído em torno do pico detectado; quanto maior M , maior o alisamento. Concordando com Black, a simulação apontou $2W = M$ como um bom valor para M , onde W representa a largura média da base das estruturas a serem evidenciadas; nós utilizamos $M = 2W + 1$ (largura da base da janela sempre ímpar), para garantir a detecção do máximo.

Novamente em concordância com Black, usamos a constante multiplicativa, N_0 , sempre igual a 1.

Por todas estas considerações, aplicamos o Método de Black para o parâmetro b igual a 0.8 e para a largura da base da janela, M , igual a 15, 21, 31 e 41 para cada uma das séries originais e ainda para as séries alisadas pelo Método da Média Móvente.

A aplicação foi feita através de um programa de computador (APÊNDICE C), elaborado especialmente para este trabalho, que nos fornecia o valor de cada coeficiente de correlação e sua respectiva posição.

Como a localização das estruturas temporais é dada pelos valores positivos da função de correlação, igualamos todos os valores negativos a zero. A seguir são mostrados os valores positivos das funções de correlação obtidas para as séries originais sem alisamento (Figs. 13 a 20).

REGISTRO R0921 - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=15 b=0,8

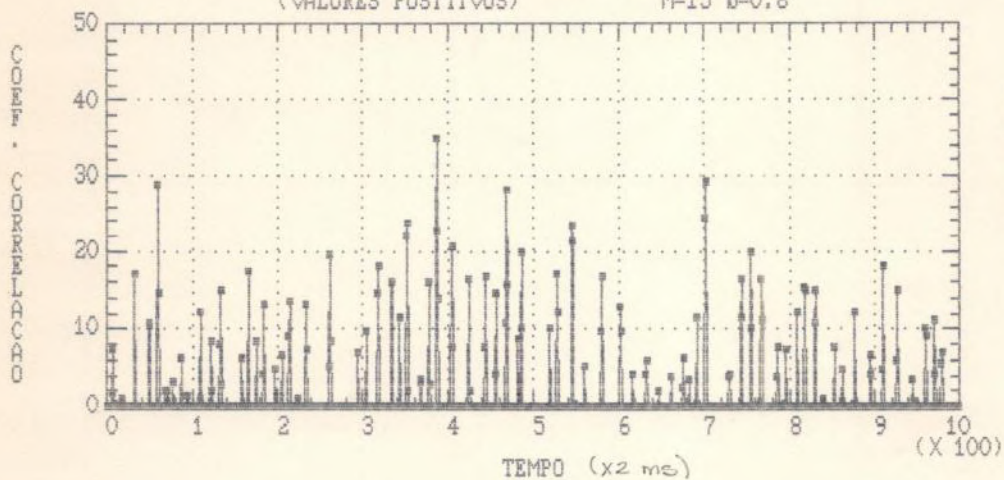


Fig. 13 - Registro R0921 - Valores positivos da função de correlação para $M = 15$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0921 - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=21 b=0,8

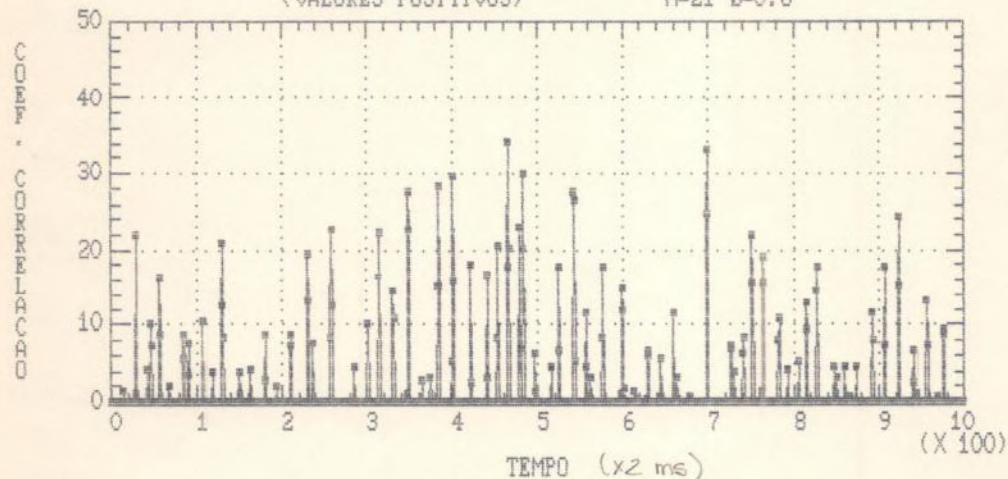


Fig. 14 - Registro R0921 - Valores positivos da função de correlação para $M = 21$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0921 - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=31 b=0.8

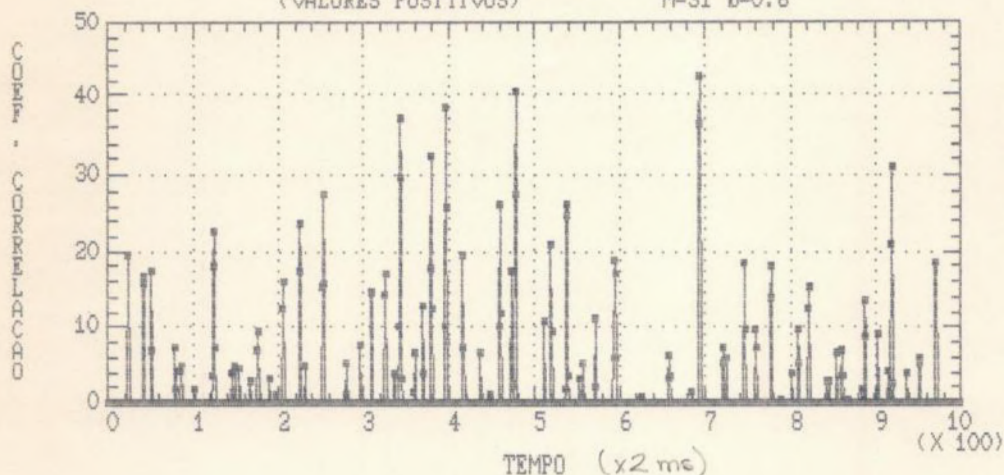


Fig. 15 - Registro R0921 - Valores positivos da função de correlação para $M = 31$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0921 - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=41 b=0.8

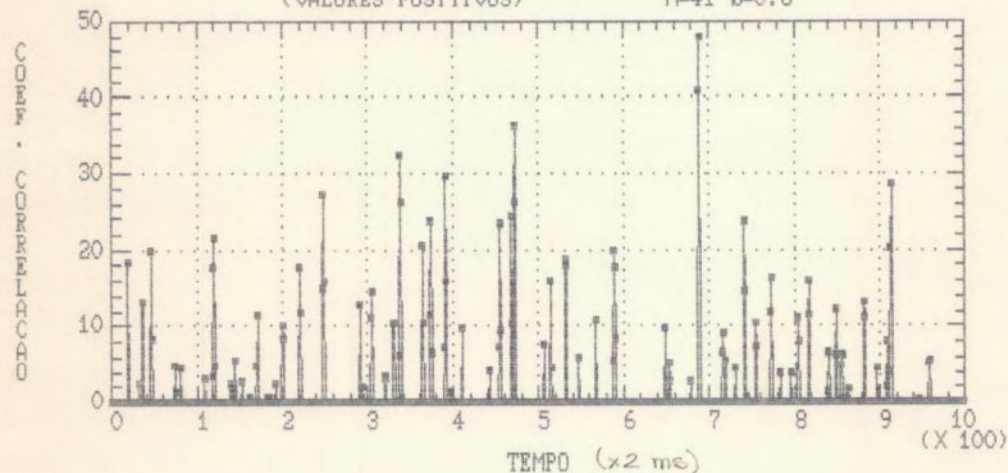


Fig. 16 - Registro R0921 - Valores positivos da função de correlação para $M = 41$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0920B - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=15 b=0.8

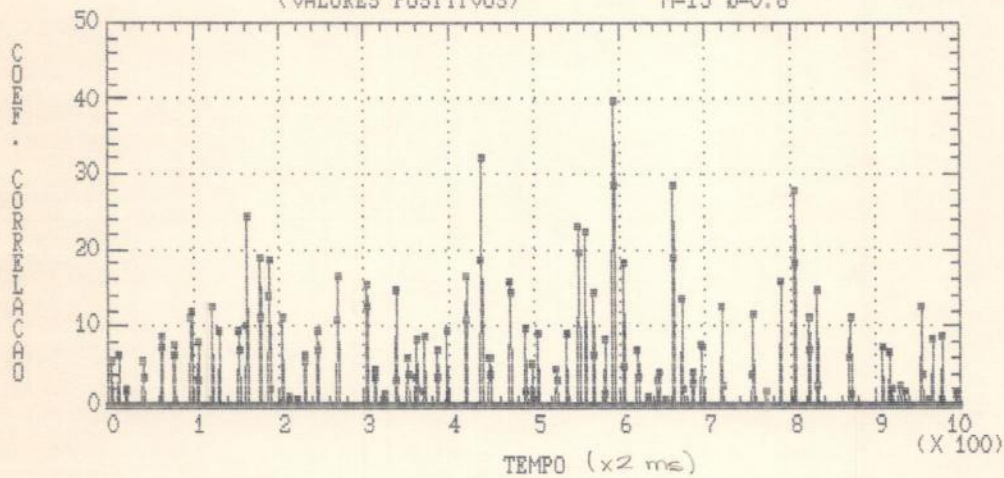


Fig. 17 - Registro R0920B - Valores positivos da função de correlação para $M = 15$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0920B - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=21 b=0.8

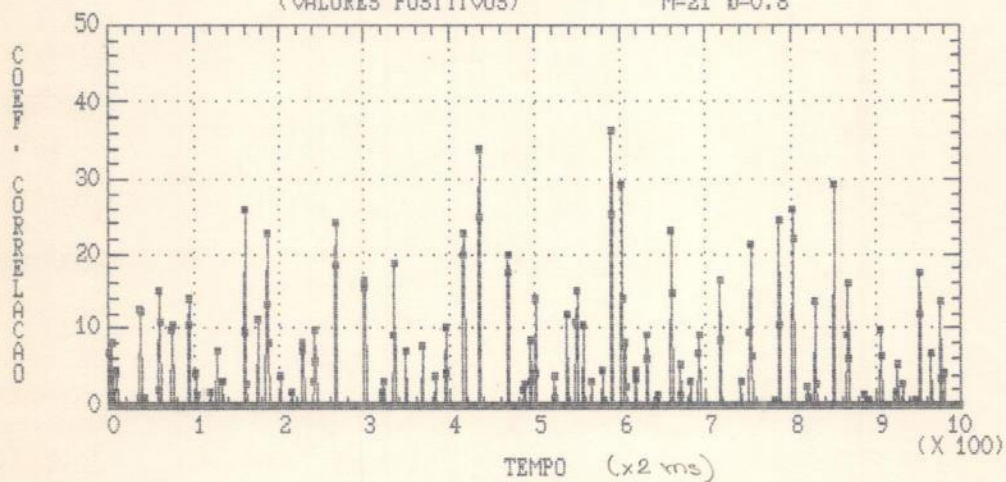


Fig. 18 - Registro R0920B - Valores positivos da função de correlação para $M = 21$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0920B - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=31 b=0.8

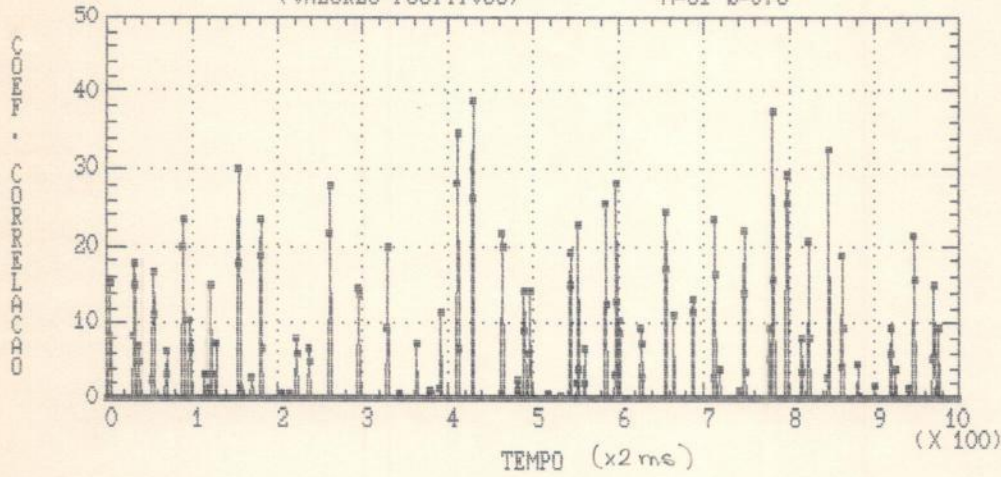


Fig. 19 - Registro R0920B - Valores positivos da função de correlação para $M = 31$ e $b = 0.8$.

REGISTRO R0920B - FUNCAO DE CORRELACAO
(VALORES POSITIVOS) M=41 b=0.8

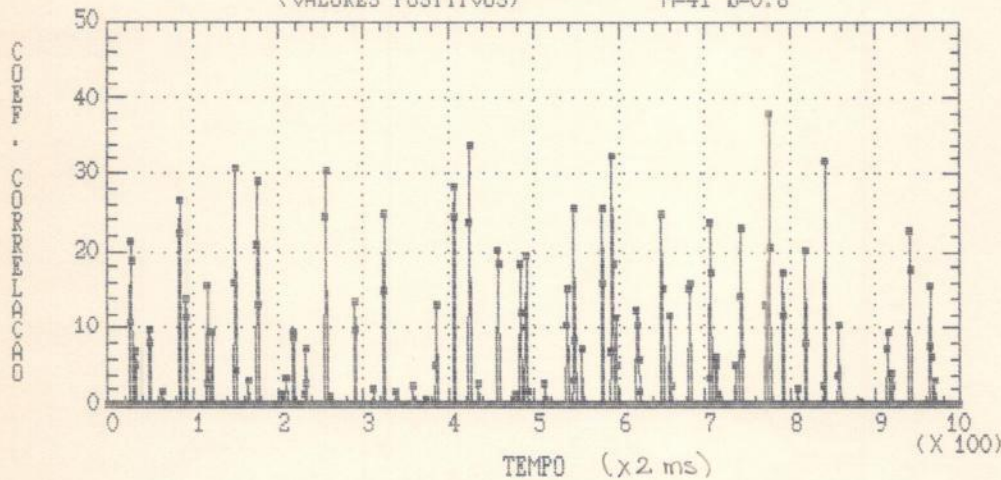


Fig. 20 - Registro R0920B - Valores positivos da função de correlação para $M = 41$ e $b = 0.8$.

d) PULSOS EMITIDOS

IDENTIFICAÇÃO

O procedimento para a identificação dos pulsos emitidos em cada um dos registros analisados, através da aplicação do Método de Black, foi o seguinte:

- 1 - entrar com a série temporal a ser analisada e com os dados de entrada (M e b) no programa BLACK;
- 2 - obter, a partir do programa, a função de correlação;
- 3 - localizar os valores positivos da função de correlação (valores positivos de "Cr") (vide Figs. 13 a 20);
- 4 - somar à posição (τ) de cada Cr positivo, o "lag" adequado, sendo que, $\text{lag} = (M - 1)/2 = t_0$;
- 5 - identificar na série original, cada posição (t) obtida da soma indicada acima ($t = \tau + \text{lag}$);
- 6 - constatar se realmente naquela posição existe um pico de energia, ou seja, se ela coincide com o máximo de um pulso emitido e finalmente,
- 7 - assinalar na série original todos os pulsos identificados pelo método.

Com este procedimento identificamos todos os pulsos considerados significativos para os devidos parâmetros de entrada, (M e b), escolhidos (Figuras 21 a 28). As demais estruturas podem ser consideradas como flutuações aleatórias do sinal (ruídos espúrios).

FIG. 21 - REGISTRO R0921
73 PULSOS IDENTIFICADOS CON $M=15$ E $b=0.8$

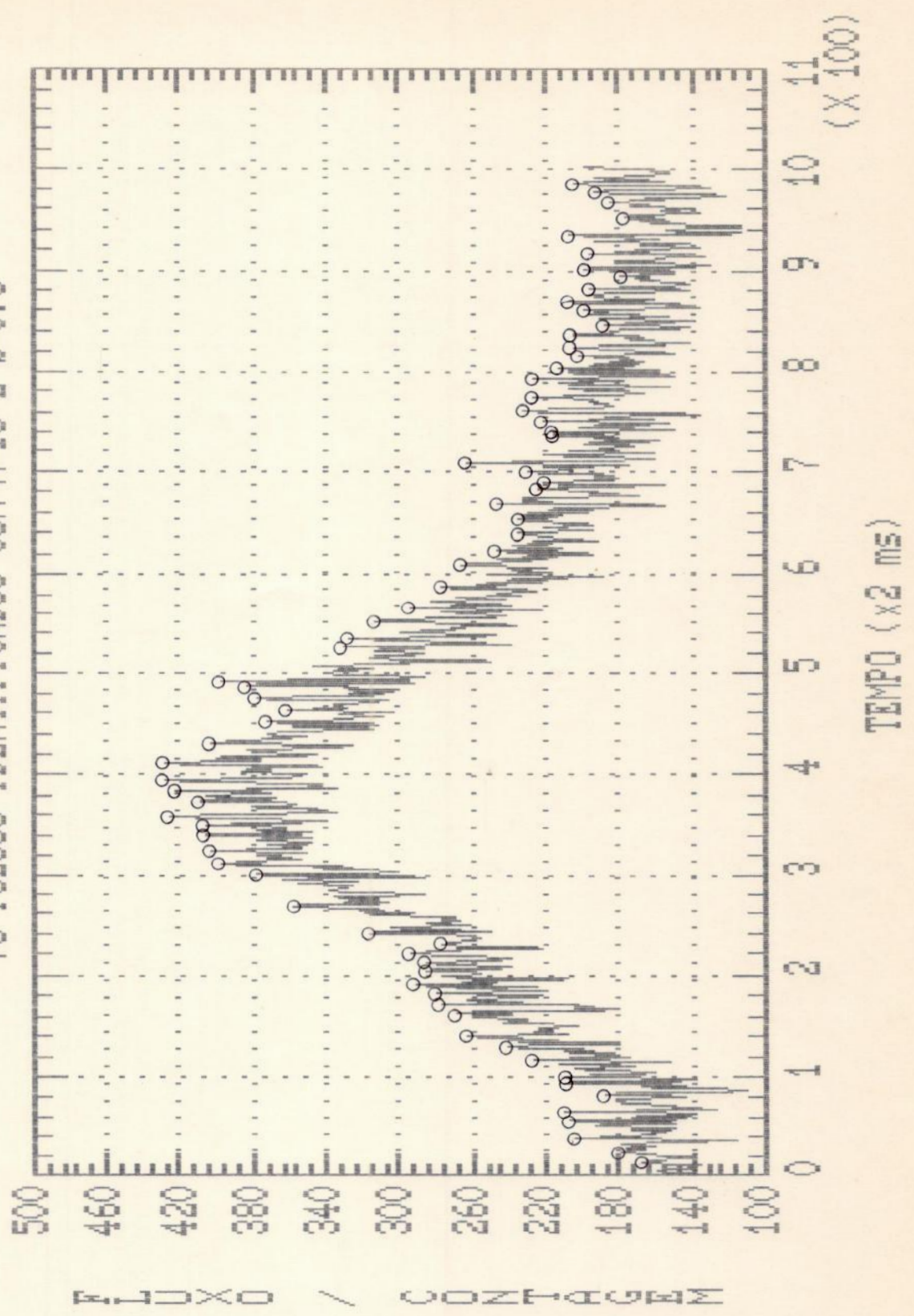


FIG. 22 - REGISTRO R0921
 72 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=21$ E $b=0,8$

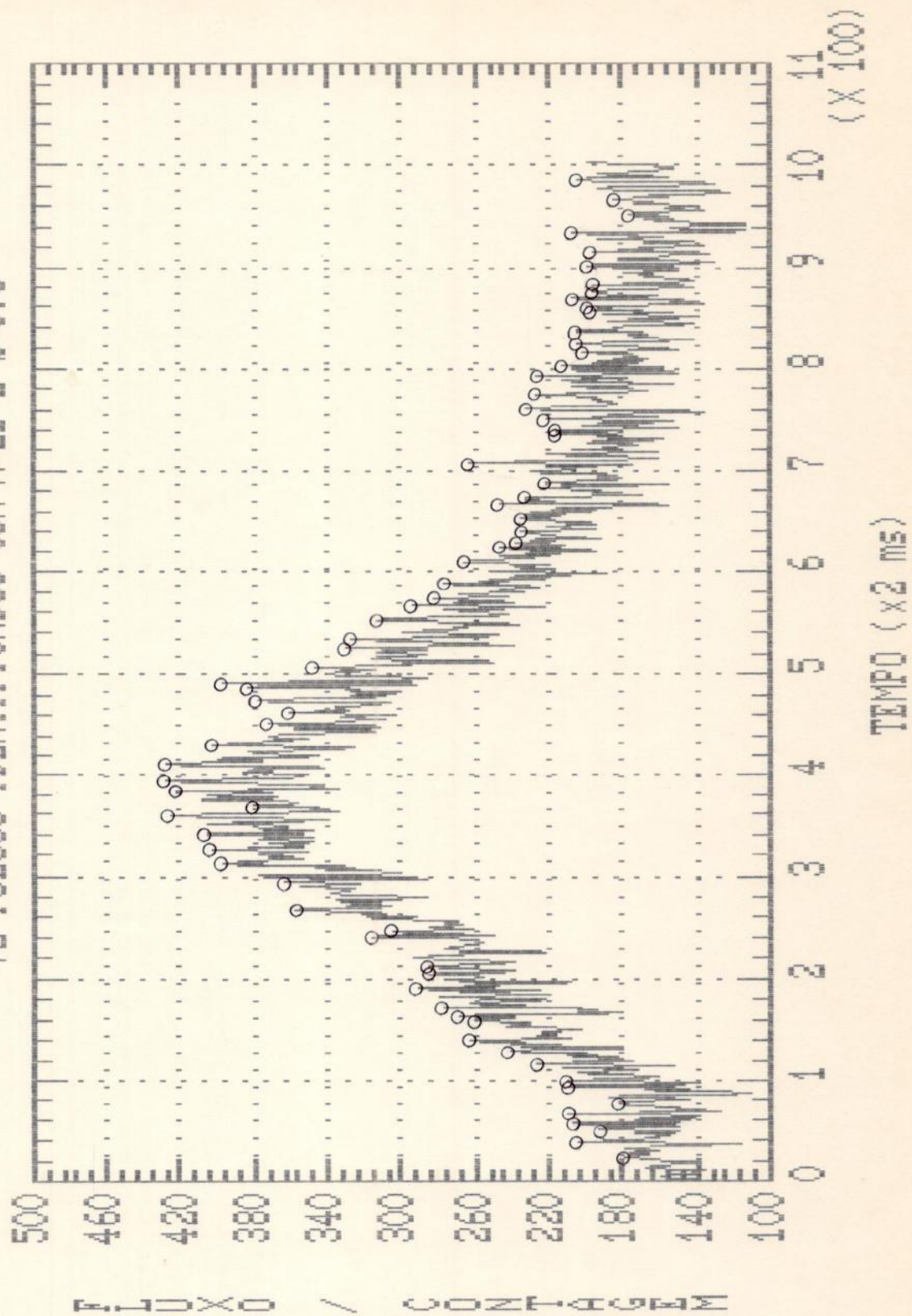


FIG. 23 - REGISTRO R0921
 70 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=31$ E $b=0.8$

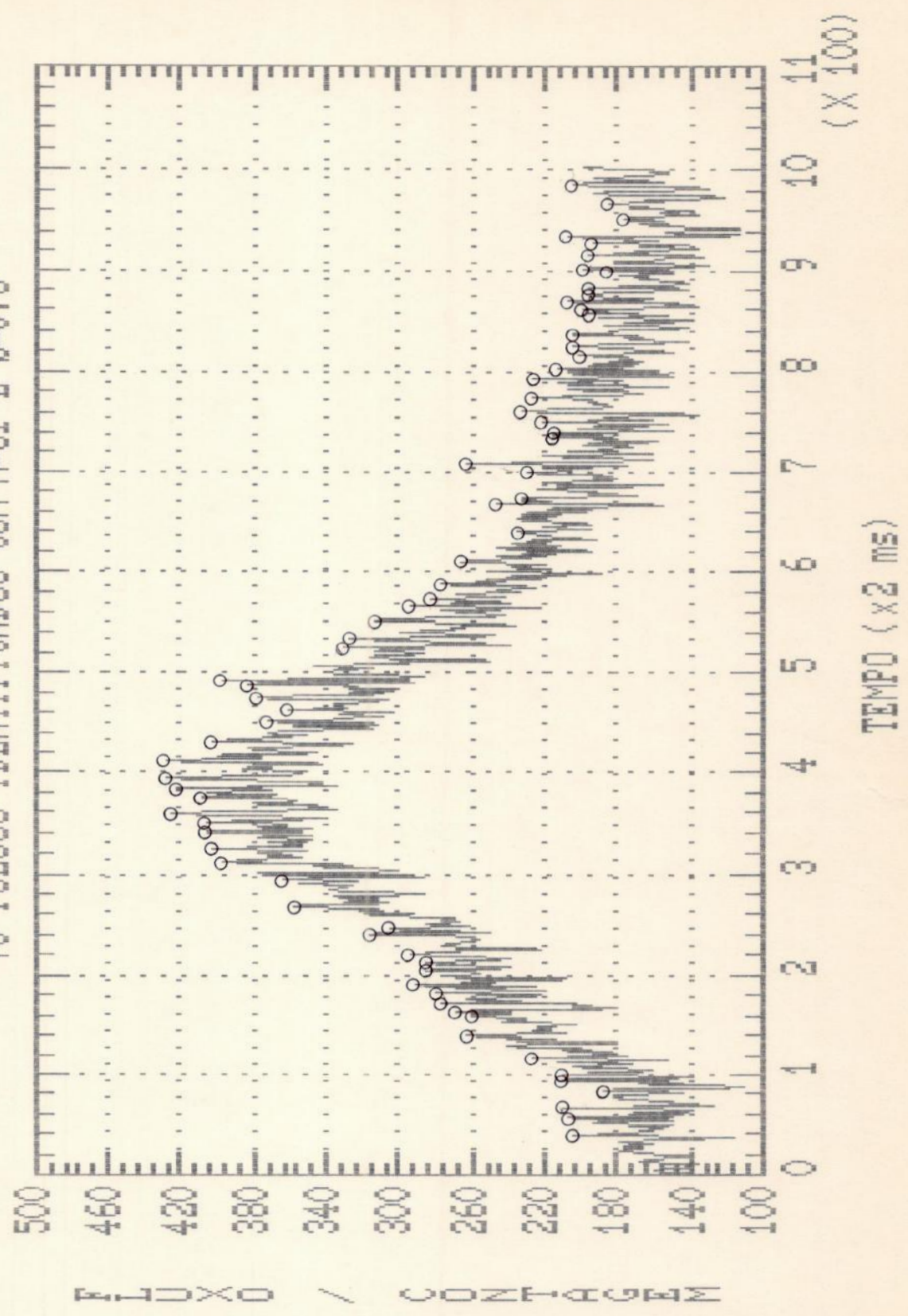


FIG. 24 - REGISTRO R0921
 63 PULSOS IDENTIFICADOS COM M=41 E b=0.8

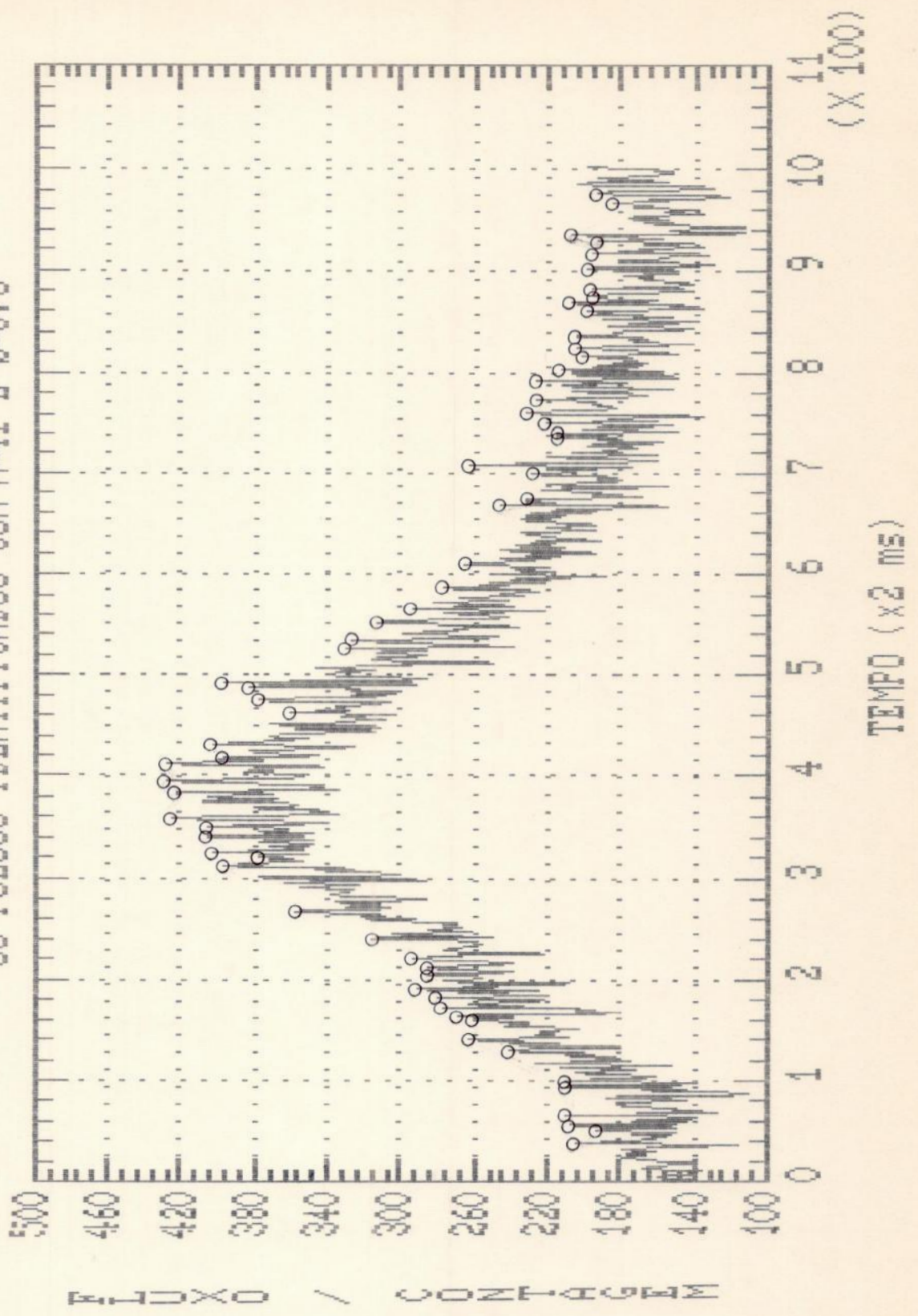


FIG. 25 - REGISTRO R0920B
65 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=15$ E $b=0.8$

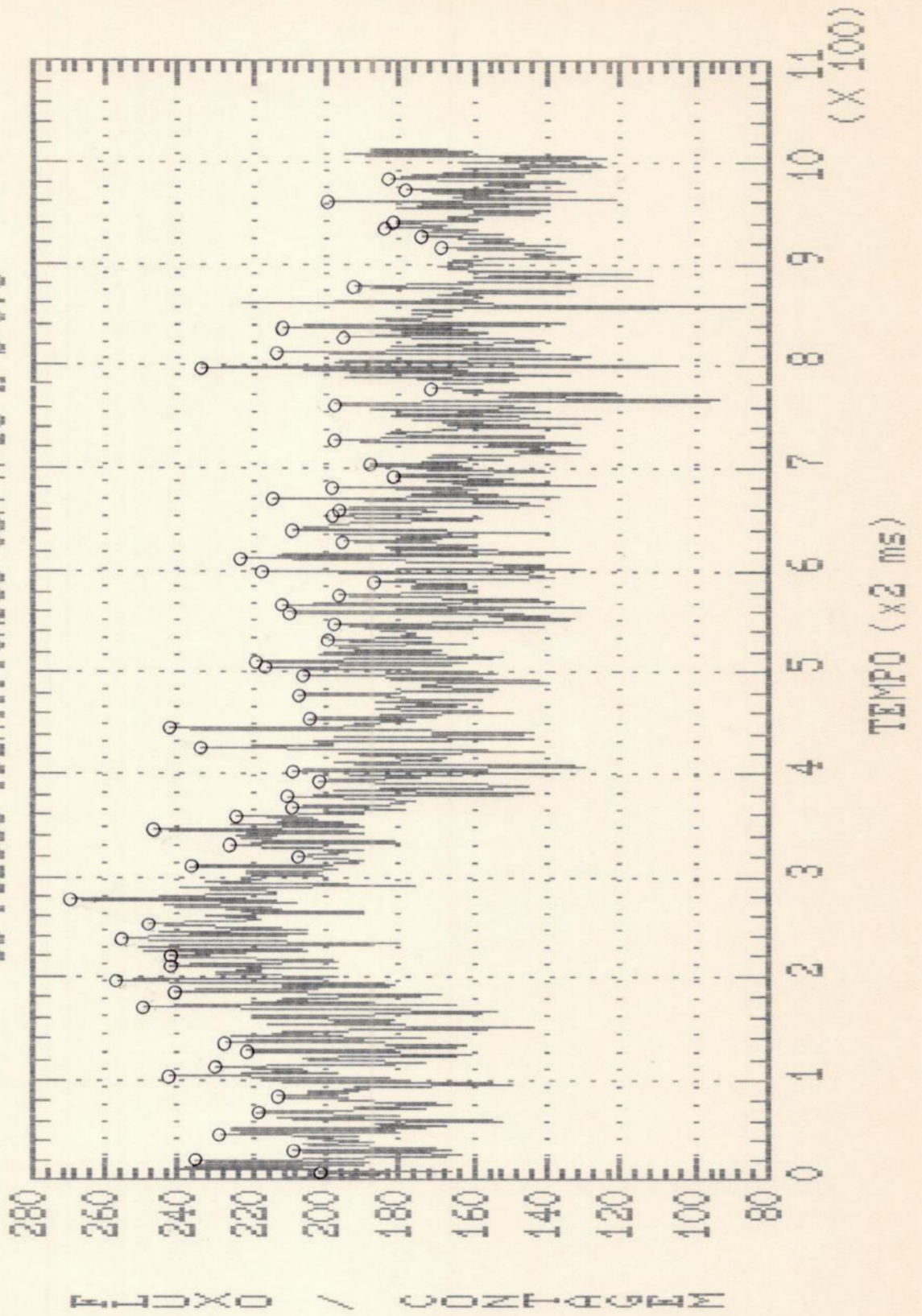


FIG. 26 - REGISTRO R0920B
 66 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=21$ E $b=0.8$

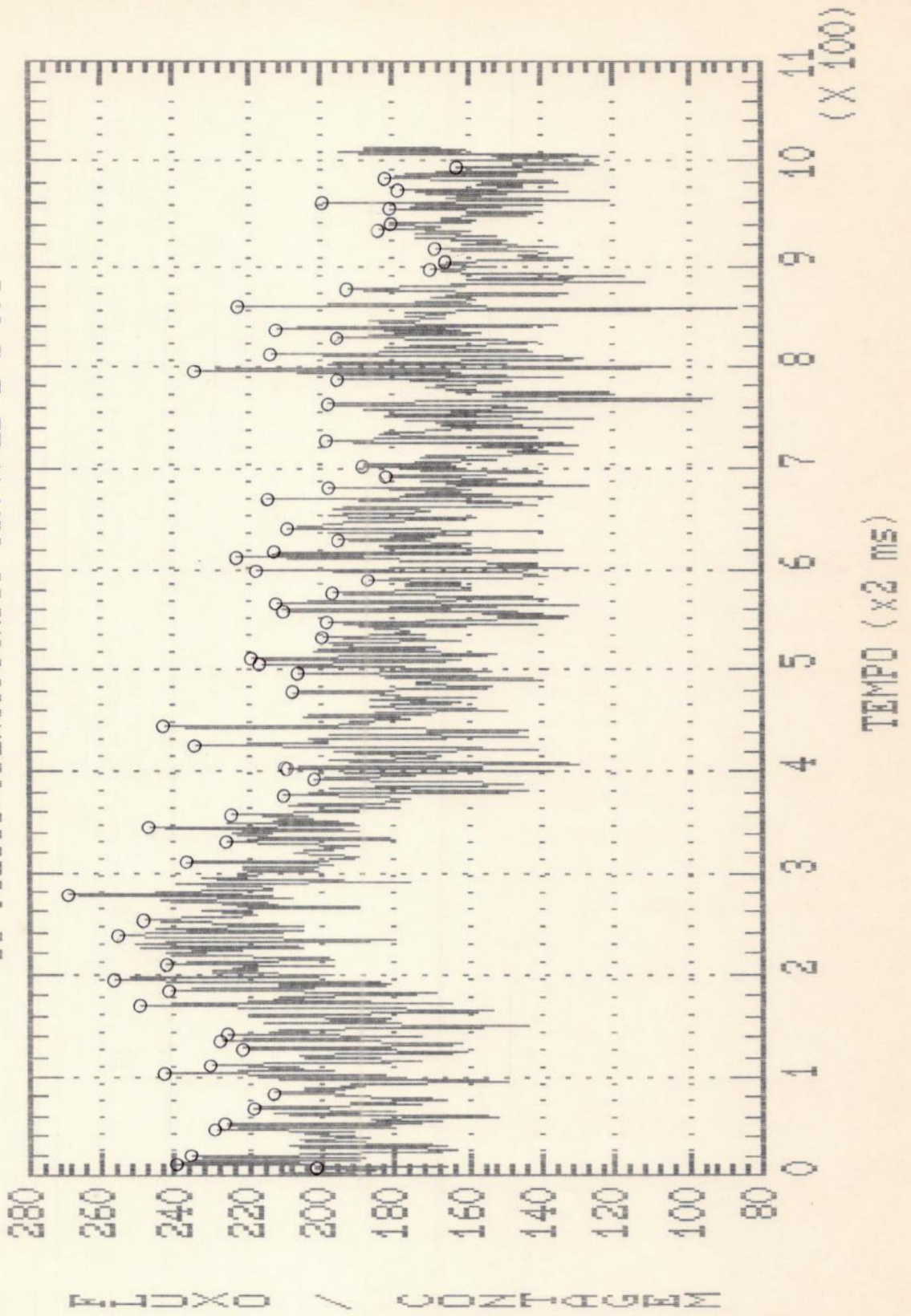


FIG. 27 - REGISTRO R0920B
 60 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=31$ E $b=0.8$

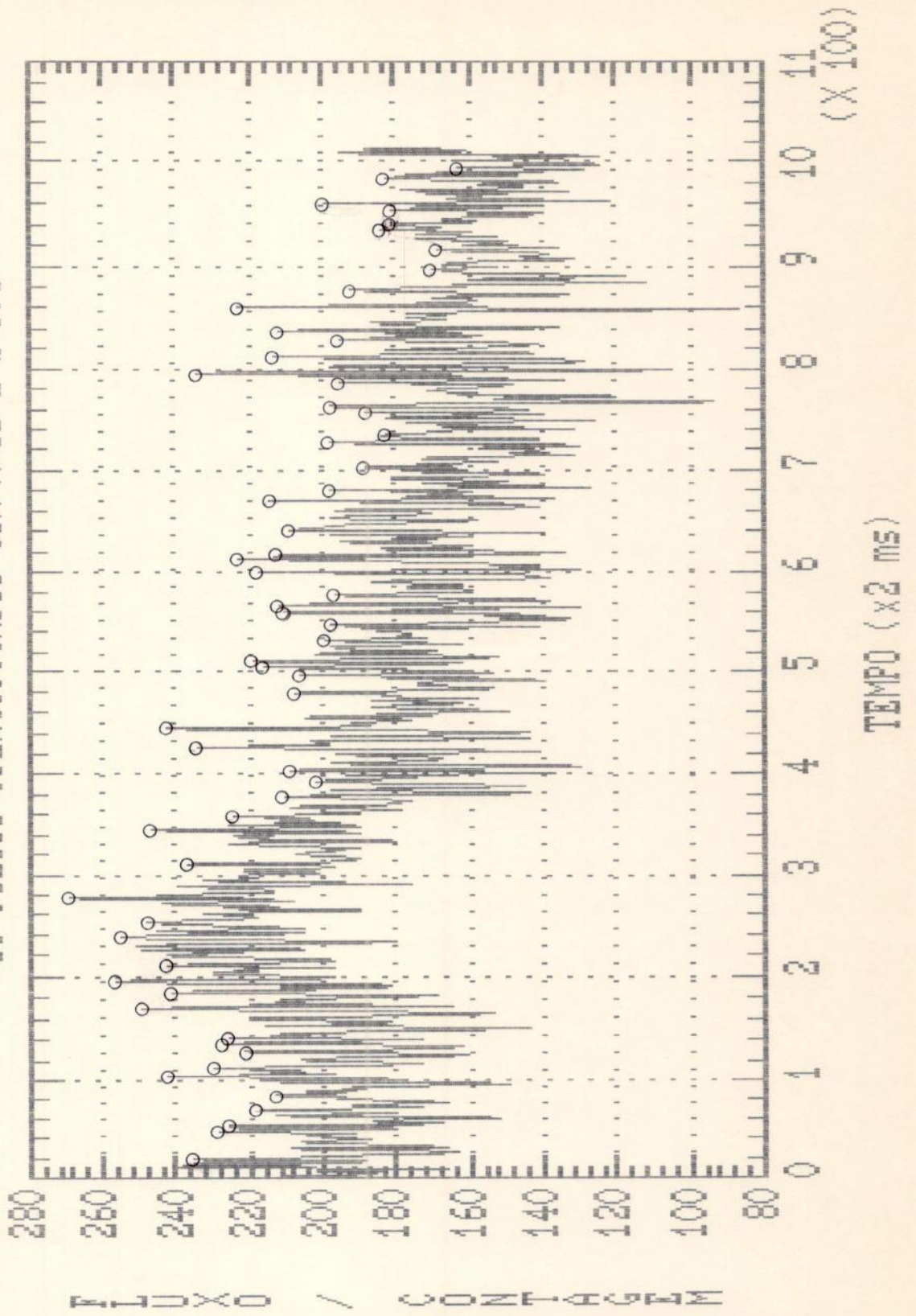
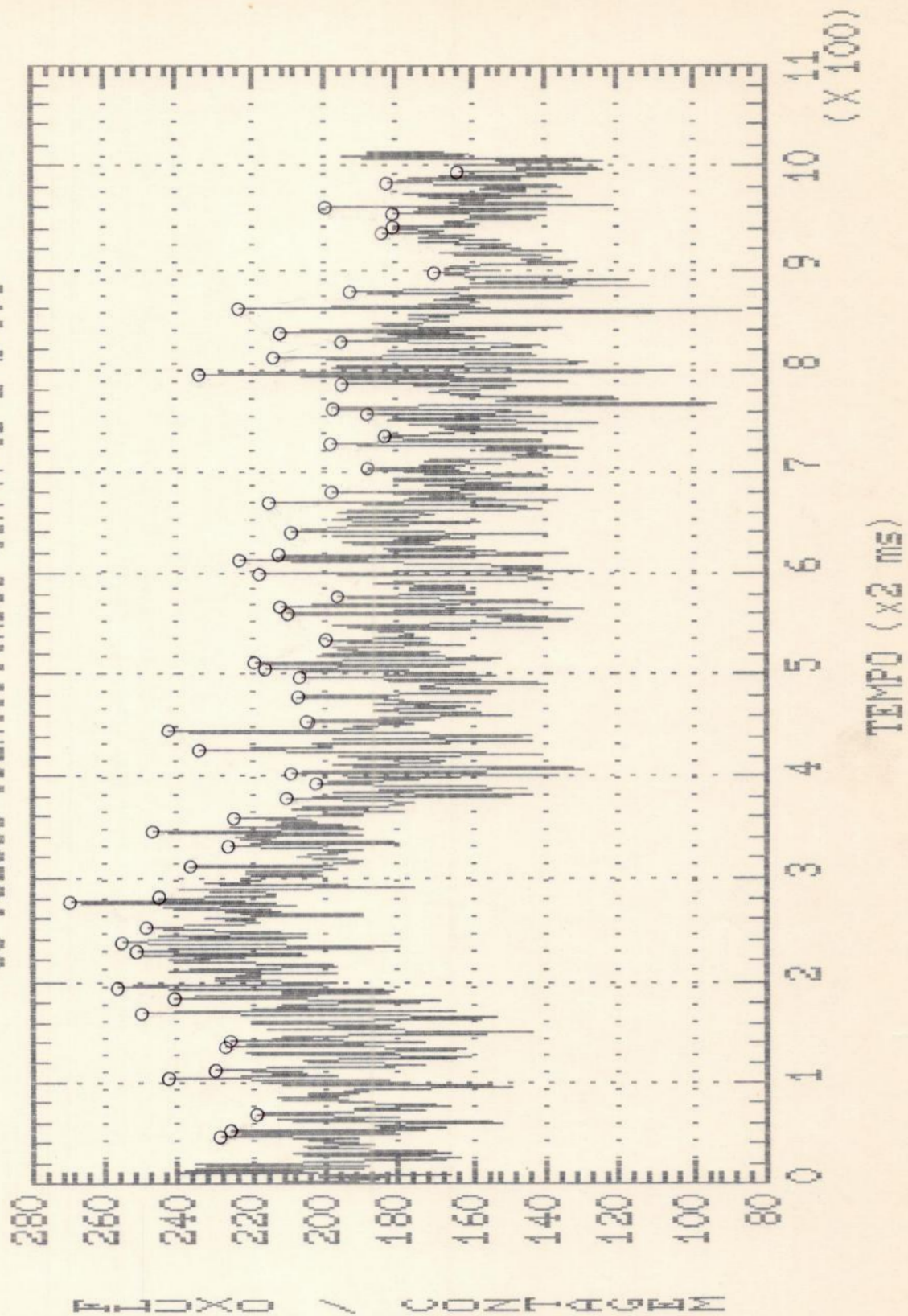


FIG. 28 - REGISTRO R0920B
58 PULSOS IDENTIFICADOS COM $M=41$ E $b=0.8$



ANÁLISE

Tendo identificado os pulsos emitidos, calculamos a duração, amplitude e taxa de repetição médias com que eles ocorrem.

A taxa de repetição média (R) [11], é dada por

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \tau_{\max i} \quad , \quad (15)$$

onde " τ_{\max} " é o intervalo, em milissegundos, entre dois máximos sucessivos e "n" é o número total de pulsos identificados na série temporal (Fig. 29).

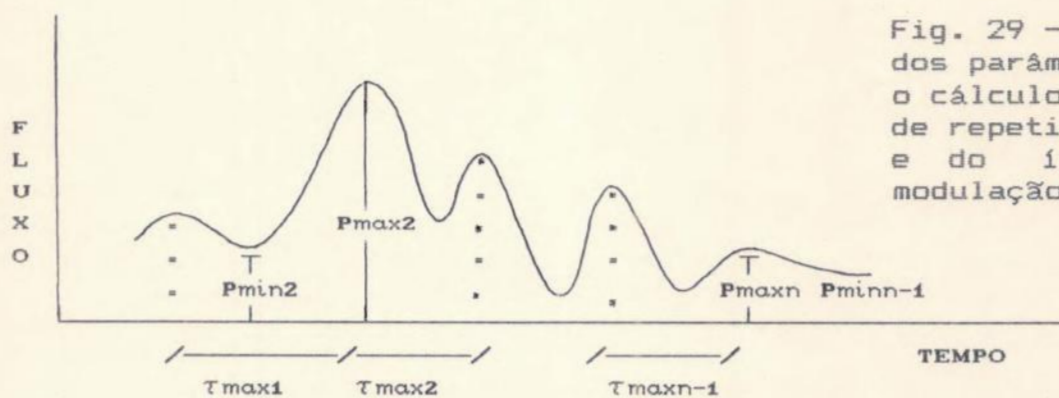


Fig. 29 - Definição dos parâmetros para o cálculo da taxa de repetição média e do índice de modulação.

A duração média (D) e a amplitude média (A) dos pulsos identificados são definidas da seguinte forma:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_{\min i} \quad (16)$$

e

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad , \quad (17)$$

onde " τ_{min} " é o intervalo, em milissegundos, entre dois mínimos consecutivos, " n " é novamente o número total de pulsos identificados e " a_i " é a amplitude absoluta do pulso i , em unidades arbitrárias de fluxo, dada por (18) (Fig. 30).

$$a_i = P_{\text{maxi}} - \frac{1}{2} (P_{\text{mini}} + P_{\text{mini}+1}), \quad (18)$$

onde " P_{maxi} " e " P_{mini} " são mostrados na Figura 30.

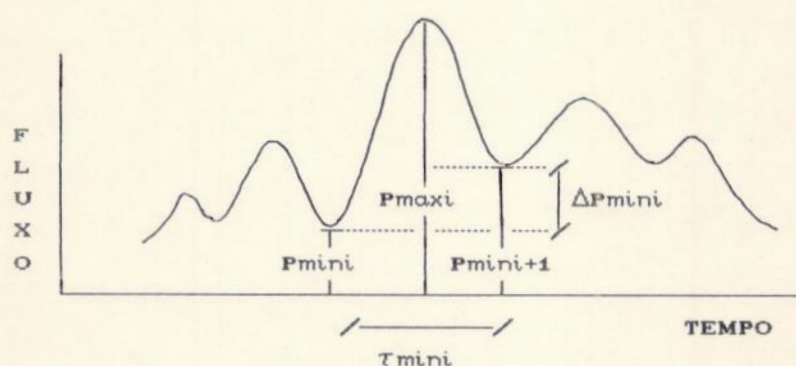


Fig. 30 - Definição da duração (τ_{min}) e da amplitude absoluta (a_i) do pulso i .

Esta análise - cálculo da amplitude, duração e taxa de repetição médias - foi feita para todos os conjuntos de pulsos obtidos e os resultados, para os registros R0921 e R0920B, são apresentados nos QUADROS 3 e 4, respectivamente.

QUADRO 3 - ANÁLISE DOS PULSOS IDENTIFICADOS PELO MÉTODO DE BLACK PARA O REGISTRO R0921

Método de Black		Pulsos Identificados			
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Aplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
15	1.33	73	37.46	55.55	13.73
21	1.33	72	37.10	54.14	13.36
31	1.33	70	36.58	54.89	13.34
41	1.33	63	33.05	56.67	13.68

QUADRO 4 - ANÁLISE DOS PULSOS IDENTIFICADOS PELO MÉTODO DE BLACK PARA O REGISTRO R0920B

Método de Black		Pulsos Identificados			
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
15	1.33	65	32.79	48.71	13.97
21	1.33	66	33.23	52.00	13.58
31	1.33	60	30.41	53.57	13.80
41	1.33	58	30.25	52.91	13.59

Efetuamos este mesmo procedimento para as séries resultantes do alisamento pelo Método da Média Movente. Os resultados obtidos são mostrados nos QUADROS 5 e 6.

QUADRO 5 - ANÁLISE DOS PULSOS IDENTIFICADOS PELO MÉTODO DE BLACK PARA O REGISTRO R0921 ALISADO COM MÉDIA MOVENTE DE 7 TERMOS

Método de Black		Pulsos Identificados			
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
15	1.33	51	26.01	23.43	26.67
21	1.33	48	24.45	24.34	25.76
31	1.33	39	19.77	24.97	26.41
41	1.33	33	17.04	25.81	25.21

Finalmente, fizemos esta mesma análise nas séries temporais reduzidas (caudas e fase de máximo) do registro R0921. Os QUADROS 7, 8, 9 e 10 mostram a comparação dos resultados obtidos para todas as séries temporais analisadas, com a largura da base da janela (M), respectivamente igual a 15, 21, 31 e 41, tendo sido, o parâmetro b, fixado em 0.8.

QUADRO 6 - ANÁLISE DOS PULSOS IDENTIFICADOS PELO MÉTODO DE BLACK PARA O REGISTRO R0920B ALISADO COM MÉDIA MOVENTE DE 7 TERMOS

Método de Black		Pulsos Identificados			
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
15	1.33	46	23.16	18.57	21.87
21	1.33	48	24.15	18.42	21.25
31	1.33	45	22.70	18.97	21.47
41	1.33	38	20.21	18.47	20.21

QUADRO 7 - ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS PARA $M = 15$ E $b = 0.8$

Série Temporal (Registro)	Pulsos Identificados			
	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
R0921	73	37.46	55.55	13.73
Cauda Esquerda	15	41.92	55.20	12.27
Fase de Máximo	27	33.94	62.26	14.96
Cauda Direita	31	39.89	49.87	13.34
R0920B	65	32.79	48.71	13.97
* R0921	51	26.01	23.43	26.67
* Cauda Esquerda	09	24.54	17.32	20.22
* Fase de Máximo	21	26.32	25.89	32.67
* Cauda Direita	20	25.06	24.79	24.60
* R0920B	46	23.16	18.57	21.87

* Séries Temporais alisadas por média movente de 7 termos.

QUADRO 8 - ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS
PARA $M = 21$ E $b = 0.8$

Série Temporal (Registro)	Pulsos Identificados			
	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
R0921	72	37.10	54.14	13.36
Cauda Esquerda	15	41.92	52.80	12.53
Fase de Máximo	27	34.30	61.07	14.44
Cauda Direita	30	38.56	48.57	12.80
R0920B	66	33.23	52.00	13.58
* R0921	48	17.04	25.81	25.76
* Cauda Esquerda	09	18.38	17.19	20.22
* Fase de Máximo	19	16.67	27.40	27.26
* Cauda Direita	20	16.95	28.03	26.80
* R0920B	48	24.15	18.42	21.25

* Séries Temporais alisadas por média movente de 7 termos.

QUADRO 9 - ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS
PARA $M = 31$ E $b = 0.8$

Série Temporal (Registro)	Pulsos Identificados			
	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
R0921	70	36.58	54.89	13.34
Cauda Esquerda	13	40.27	57.23	11.38
Fase de Máximo	28	35.25	60.93	14.71
Cauda Direita	29	37.23	48.00	12.90
R0920B	60	30.41	53.57	13.80
* R0921	39	19.77	24.97	26.41
* Cauda Esquerda	05	14.71	16.91	22.40
* Fase de Máximo	17	21.79	26.76	27.06
* Cauda Direita	17	19.54	25.55	27.18
* R0920B	45	22.70	18.97	21.47

* Séries Temporais alisadas por média movente de 7 termos.

QUADRO 10 - ANÁLISE DAS SÉRIES TEMPORAIS
PARA $M = 41$ E $b = 0.8$

Série Temporal (Registro)	Pulsos Identificados			
	Número	Taxa de Repetição Média (1/s)	Amplitude Média (un arb)	Duração Média (ms)
R0921	63	33.05	56.67	13.68
Cauda Esquerda	13	39.47	55.15	11.54
Fase de Máximo	25	31.33	62.88	15.04
Cauda Direita	25	32.61	51.24	13.52
R0920B	58	30.25	52.91	13.59
* R0921	33	17.04	25.81	25.21
* Cauda Esquerda	06	18.38	17.19	23.00
* Fase de Máximo	13	16.67	27.40	25.25
* Cauda Direita	14	16.95	28.03	26.29
* R0920B	38	20.21	18.47	20.21

* Séries Temporais alisadas por média movente de 7 termos

A seguir, apresentamos os histogramas de frequência da duração e da amplitude absoluta dos pulsos identificados em ambas as séries originais (sem alisamento) e para os vários pares de parâmetros de entrada (M e b), para os quais o Método de Black foi aplicado.

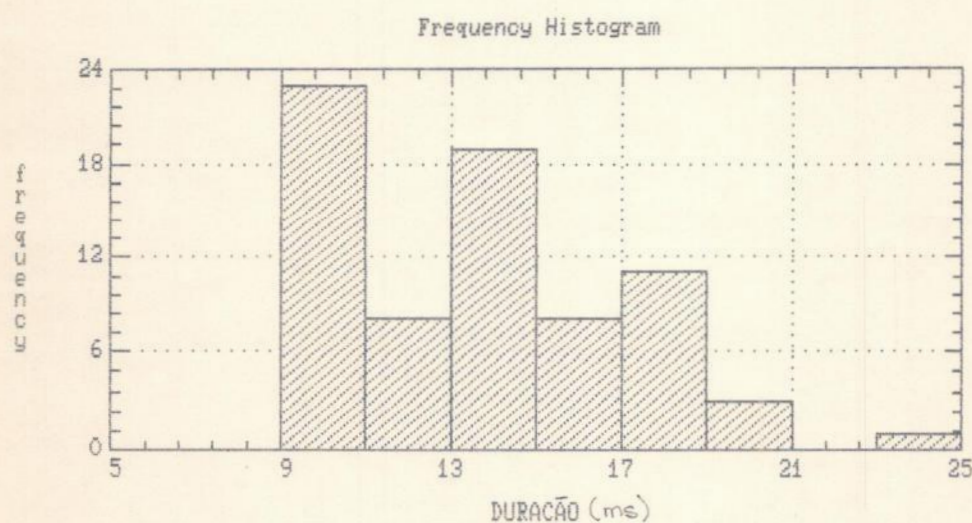


Fig.31 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=15$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

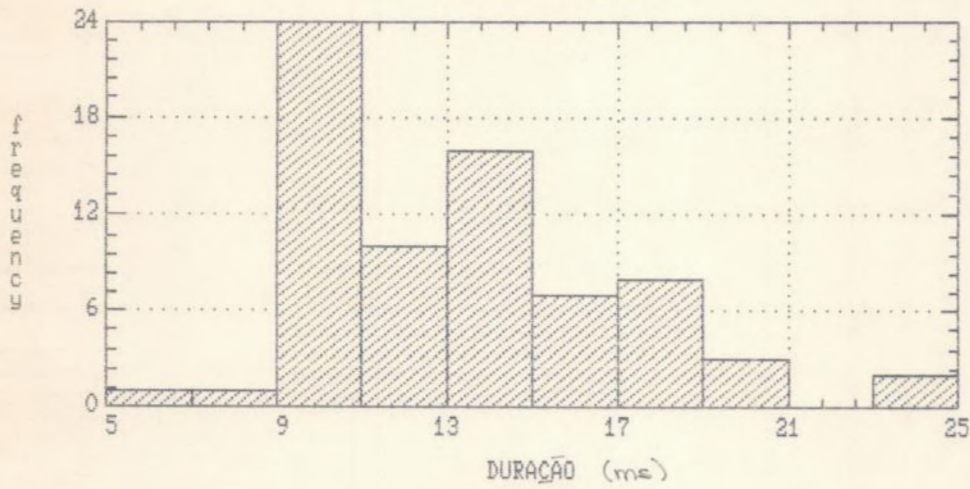


Fig.32 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=21$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

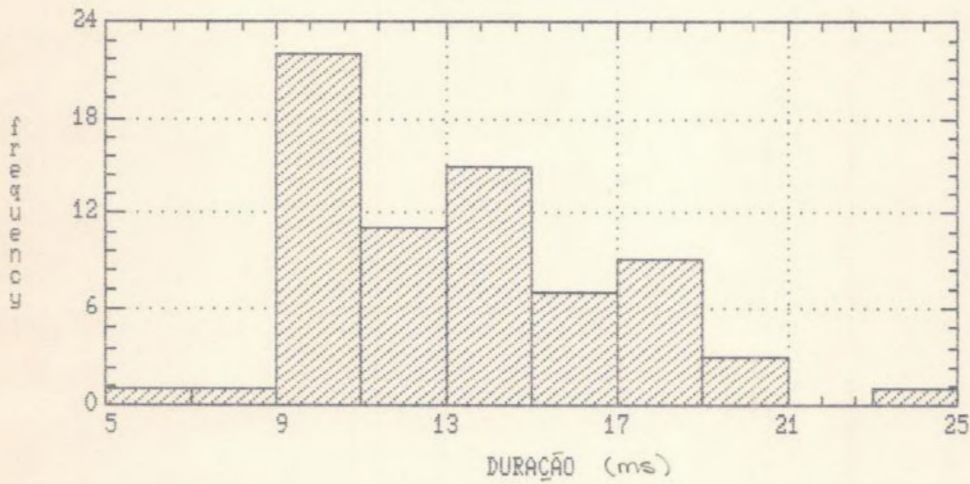


Fig.33 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=31$ e $b=0.8$.

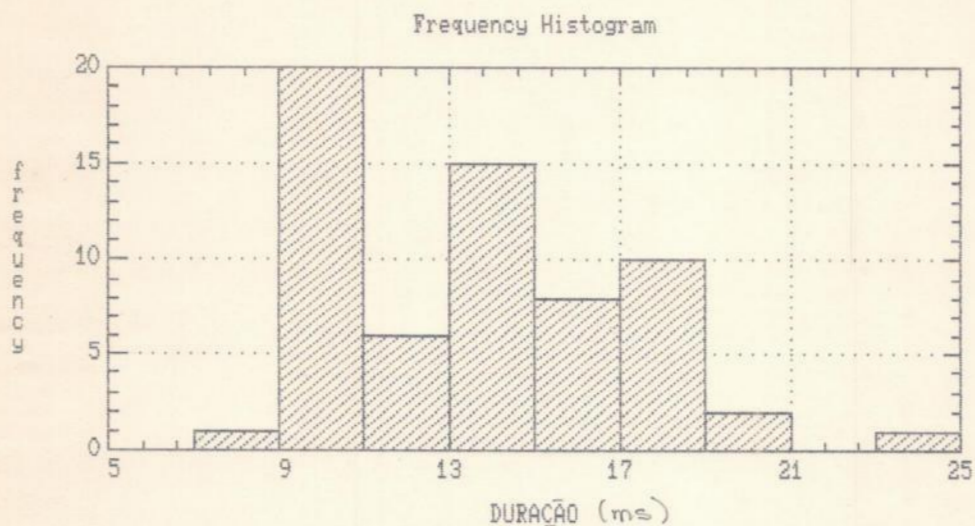


Fig.34 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=41$ e $b=0.8$.

63 pulsos pag 39

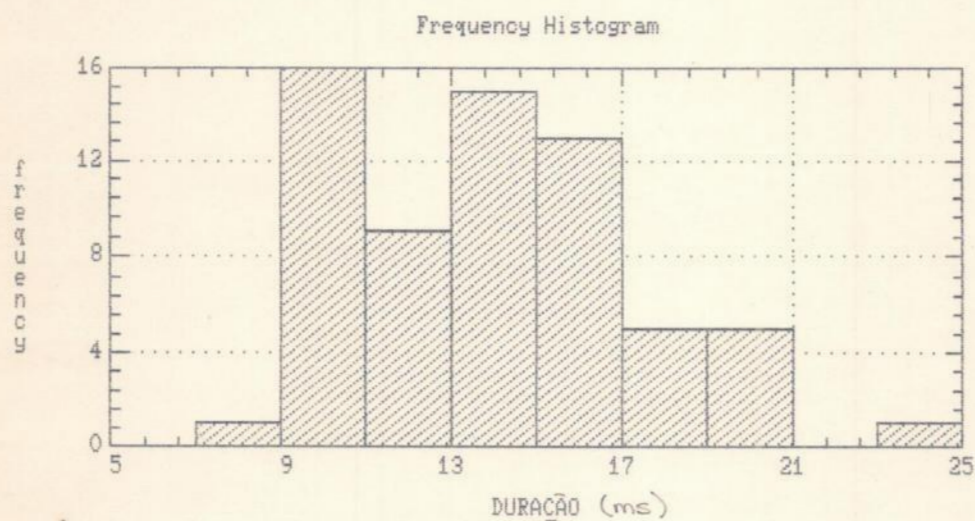


Fig.35 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=15$ e $b=0.8$.

*pag 37 ou
pag 36
N = 65 ou N = 46*

Frequency Histogram

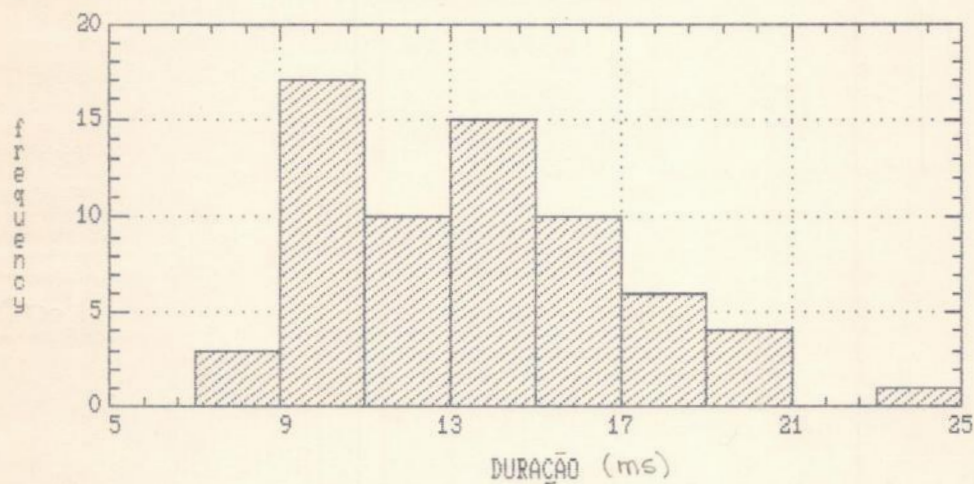


Fig.36 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=21$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

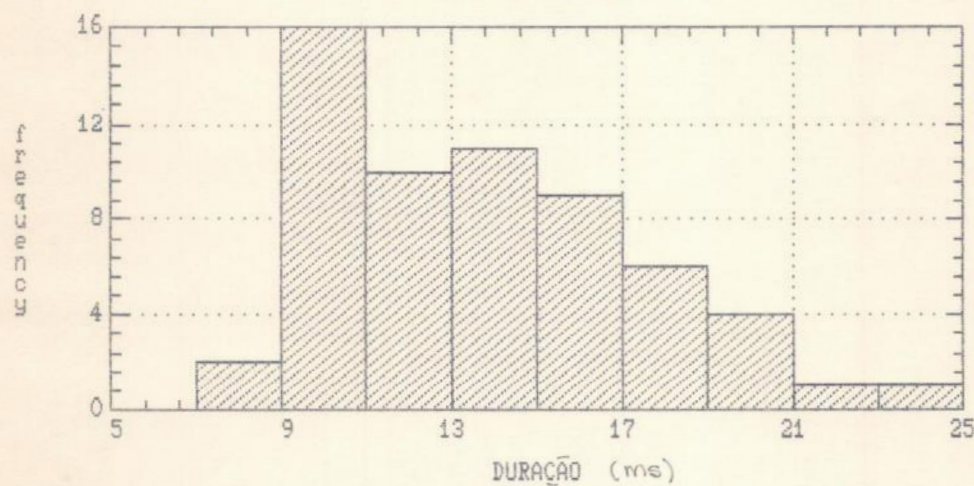


Fig.37 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=31$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

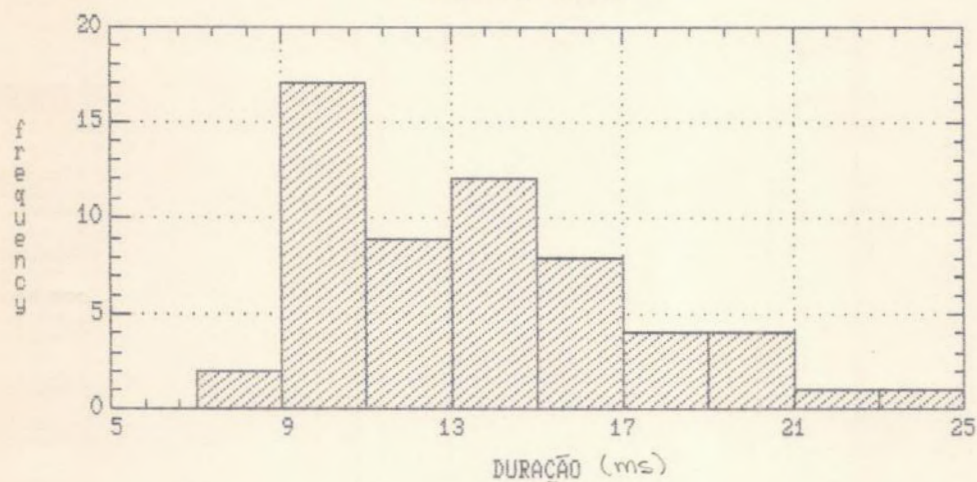


Fig.38 - Histograma de Frequência da duração dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=41$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

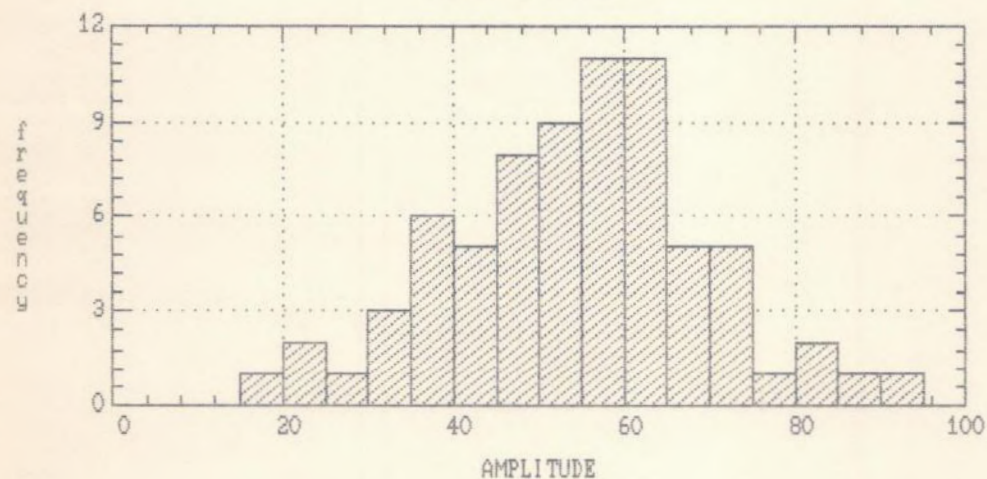


Fig.39 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=15$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

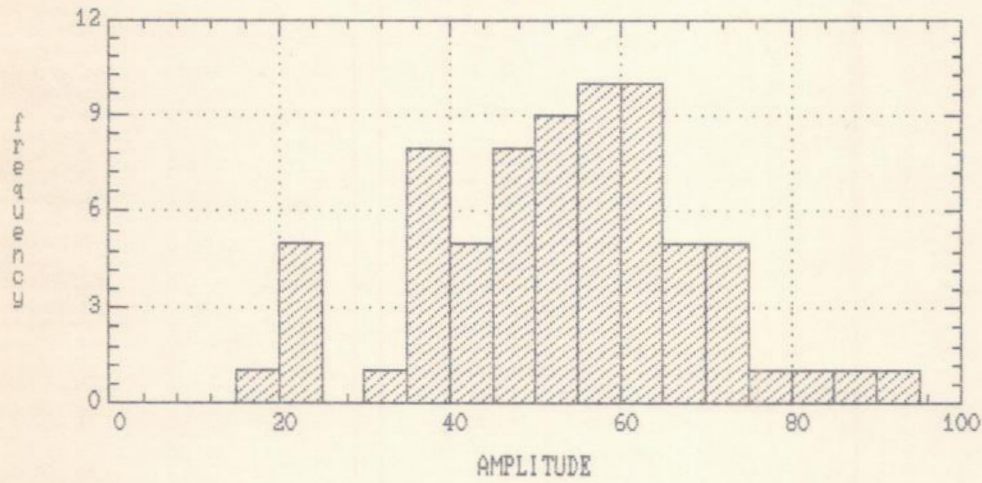


Fig.40 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=21$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

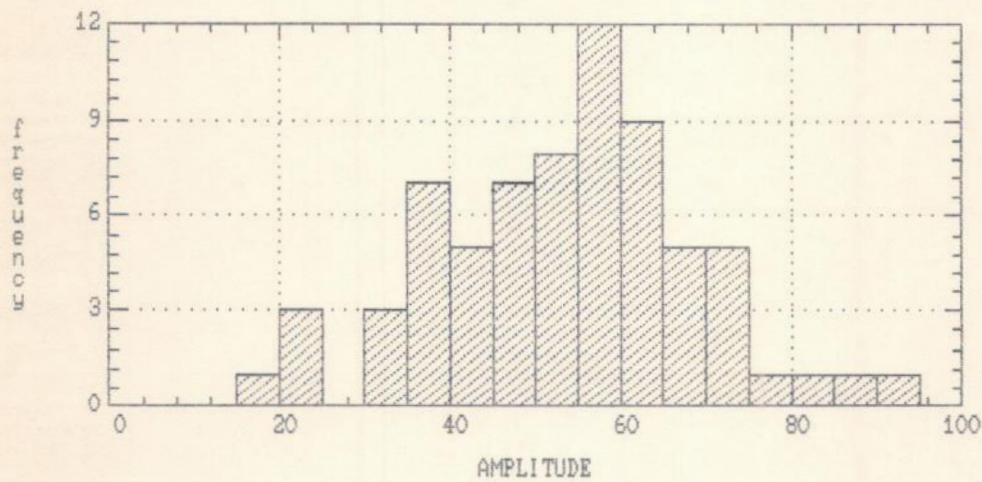


Fig.41 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=31$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

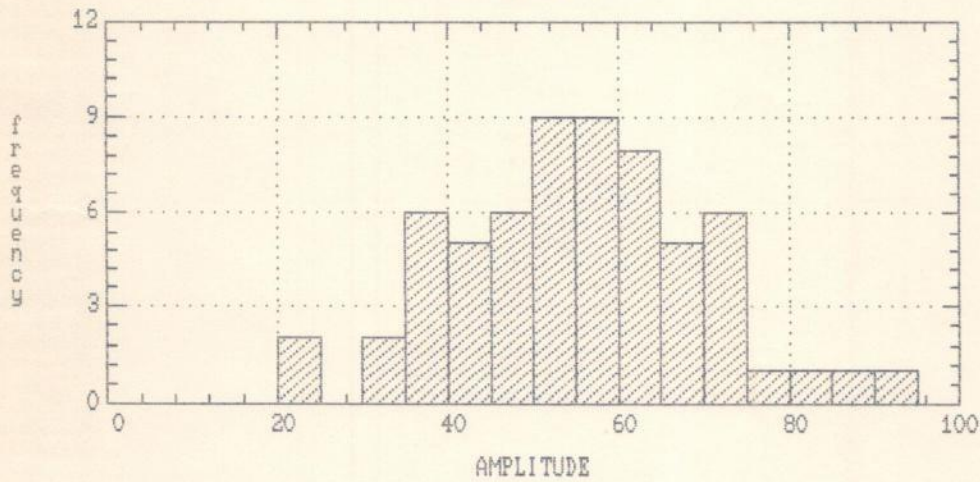


Fig.42 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0921, identificados pelo Método de Black, com $M=41$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

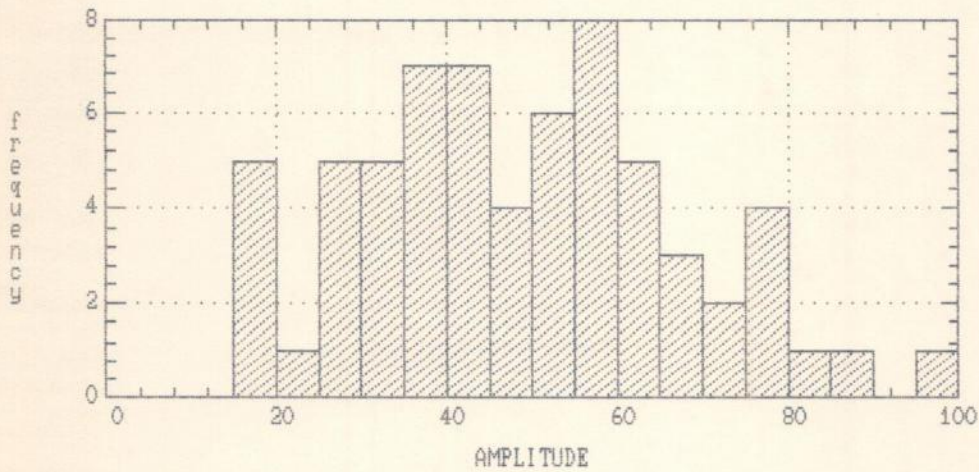


Fig.43 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=15$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

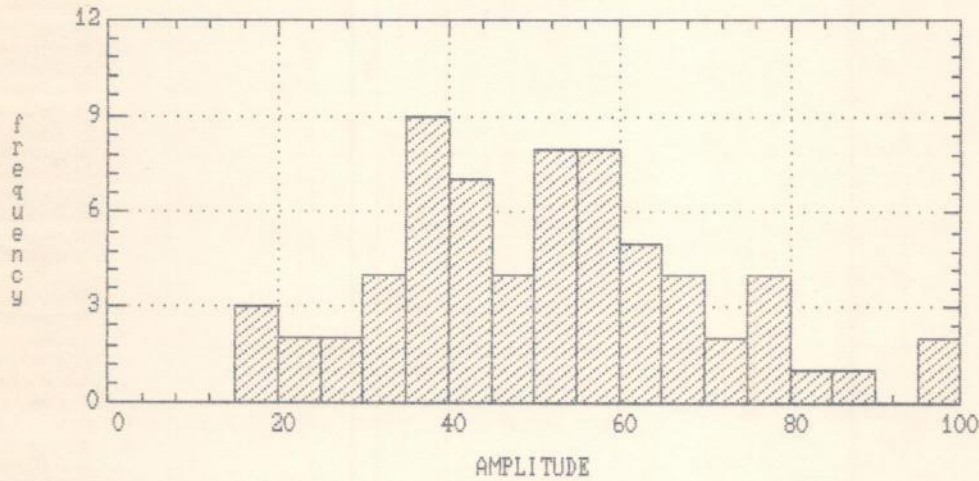


Fig.44 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=21$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

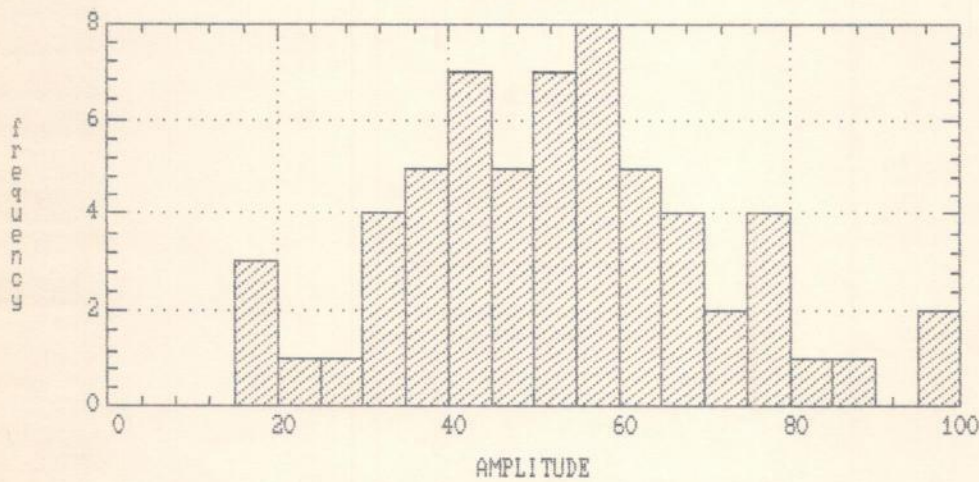


Fig.45 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=31$ e $b=0.8$.

Frequency Histogram

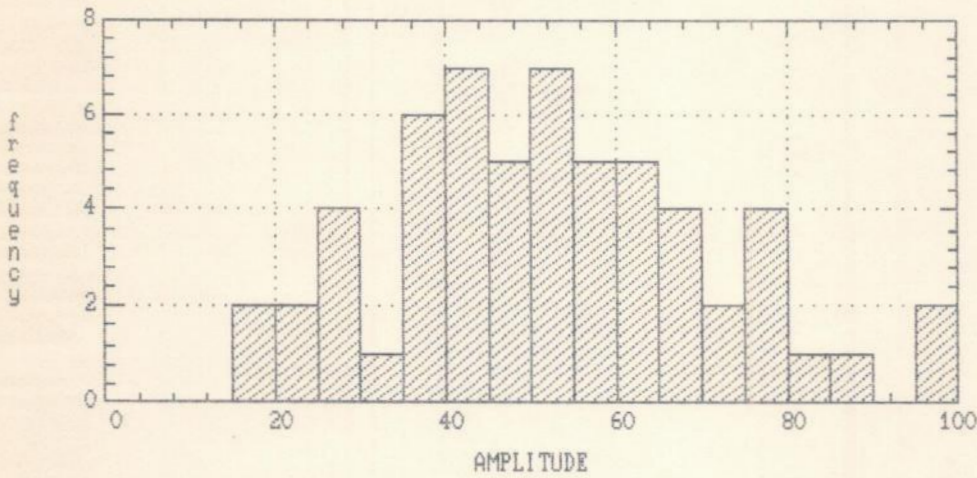


Fig.46 - Histograma de Frequência da amplitude absoluta dos pulsos do registro R0920B, identificados pelo Método de Black, com $M=41$ e $b=0.8$.

Um outro aspecto interessante que pode ser evidenciado na manipulação das características dos pulsos identificados é o gráfico que expressa a amplitude absoluta versus a duração do pulso (Figs.47 a 54).

REGISTRO R0921 - PULSOS IDENTIFICADOS
AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M15 b0.8

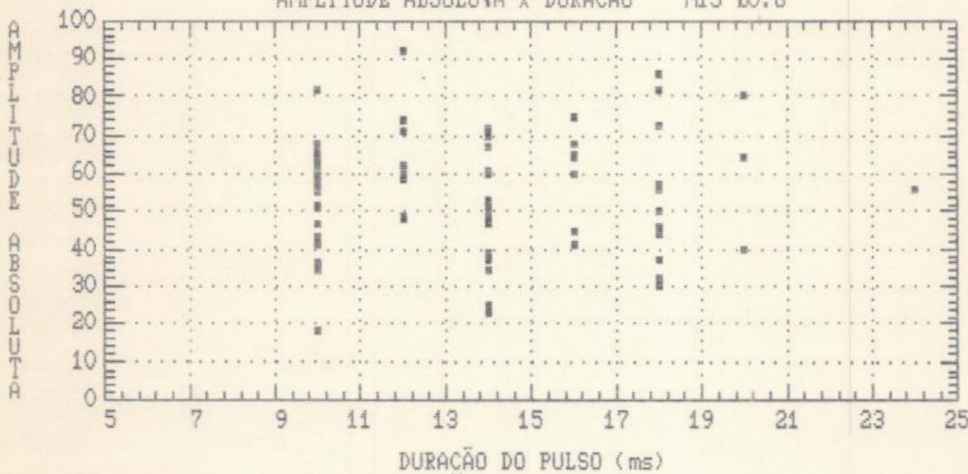


Fig.47 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0921, evidenciados pelo Método de Black, com $M=15$ e $b=0.8$.

10, 12, 14, 16, 18, 20
(ms)

REGISTRO R0921 - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M21 b0.8

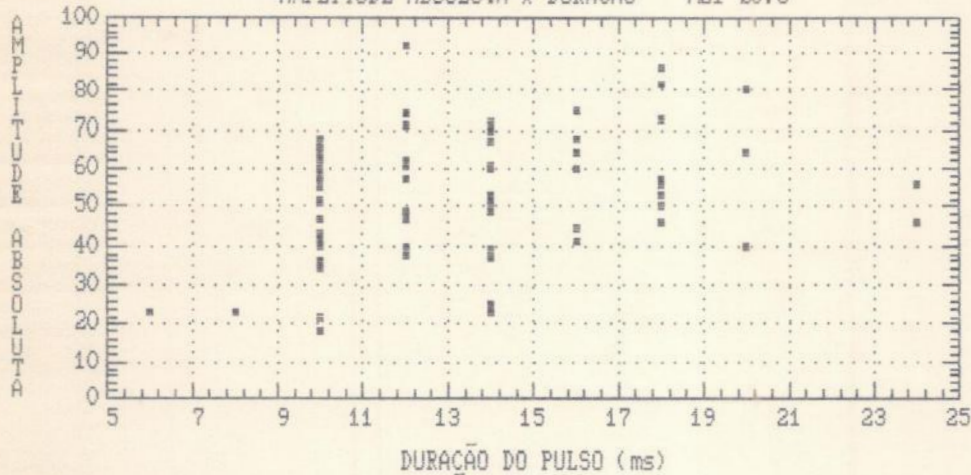


Fig.48 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0921, evidenciados pelo Método de Black, com $M=21$ e $b=0.8$.

REGISTRO R0921 - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M31 b0.8

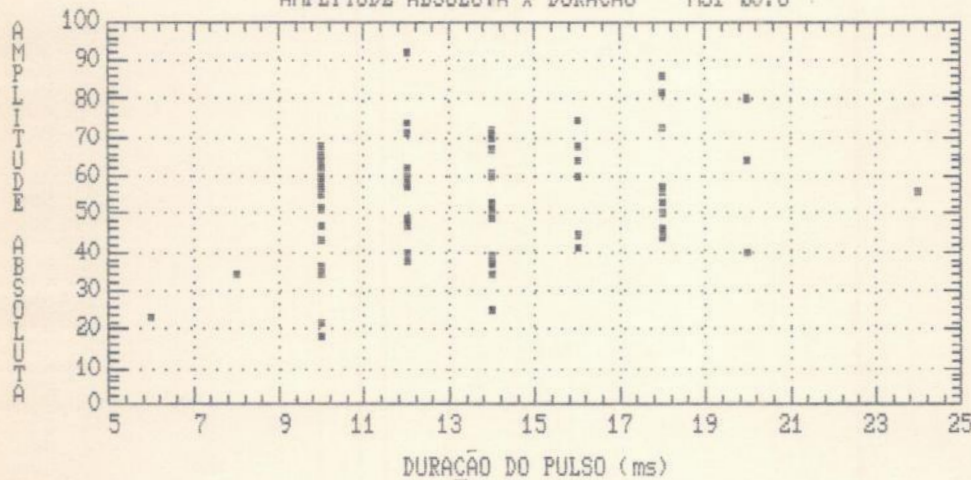


Fig.49 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0921, evidenciados pelo Método de Black, para $M=31$ e $b=0.8$.

REGISTRO R0921 - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M=41 b=0.8

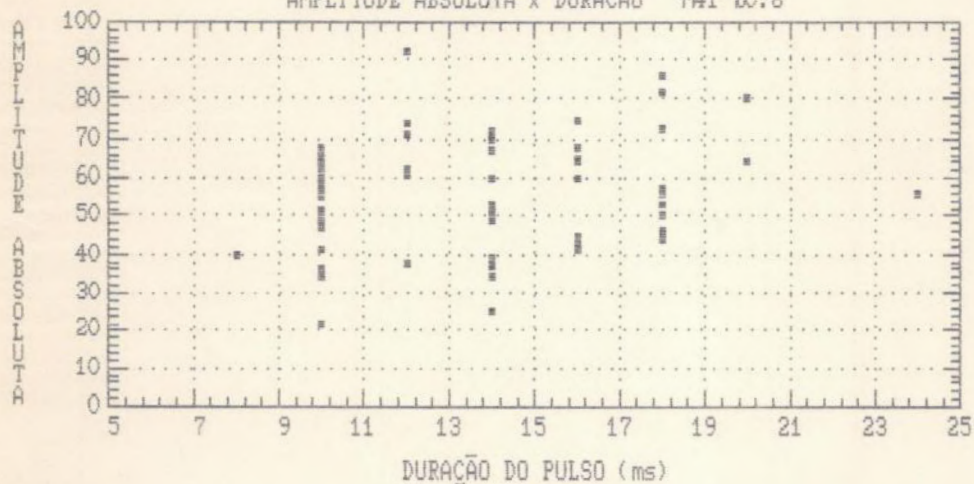


Fig.50 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0921, evidenciados pelo Método de Black, com M=41 e b=0.8.

REGISTRO R0920B - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M=15 b=0.8

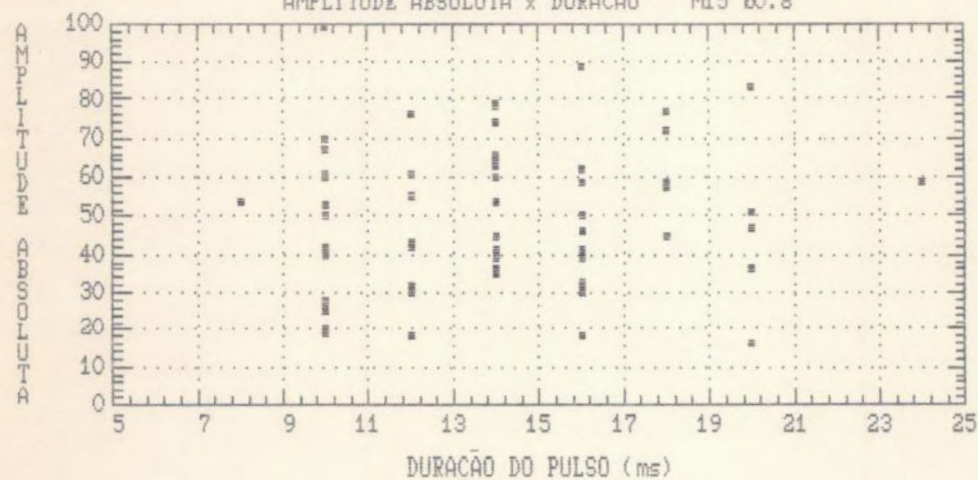


Fig.51 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0920B, evidenciados pelo Método de Black, com M=15 e b=0.8.

REGISTRO R0920B - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M21 b0.8

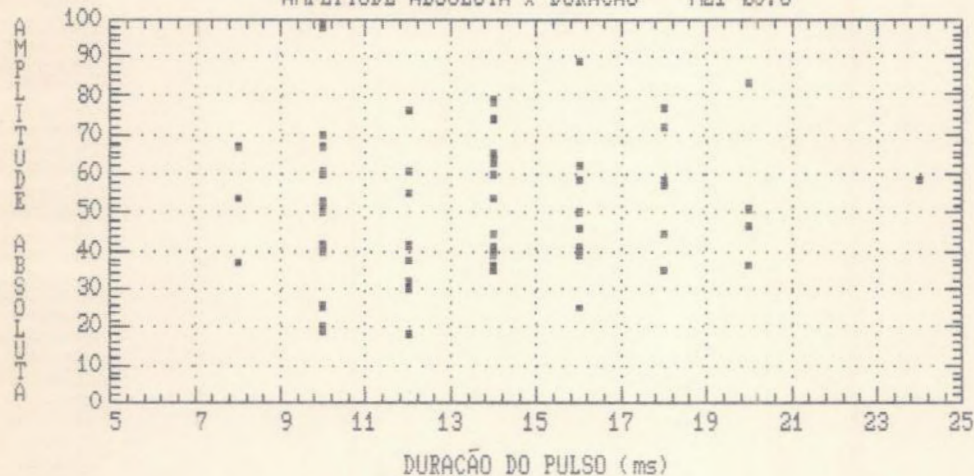


Fig.52 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0920B, evidenciados pelo Método de Black, com M=21 e b=0.8.

REGISTRO R0920B - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M31 b0.8

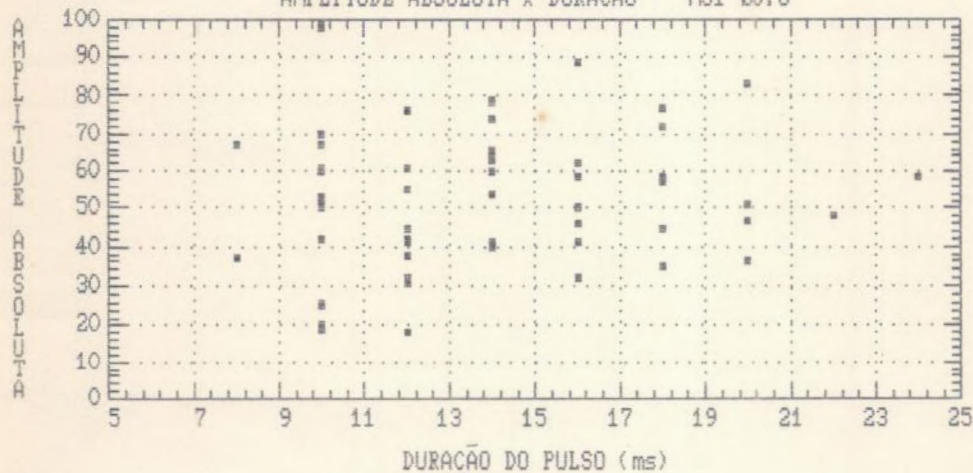


Fig.53 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0920B, evidenciados pelo Método de Black, com M=31 e b=0.8.

REGISTRO R0920B - PULSOS IDENTIFICADOS
 AMPLITUDE ABSOLUTA x DURACAO M=41 b=0.8

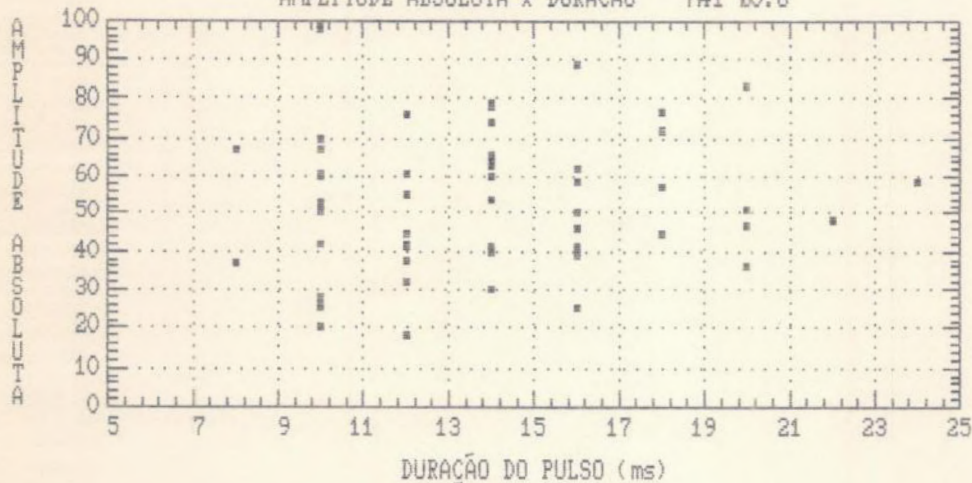
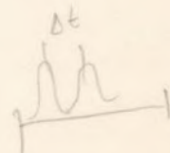


Fig.54 - Gráfico da amplitude absoluta versus a duração dos pulsos do registro R0920B, evidenciados pelo Método de Black, com M=41 e b=0.8.

ANÁLISE DA PERIODICIDADE

A fim de investigarmos a periodicidade dos pulsos identificados, verificamos como os espaçamentos entre os máximos de tais pulsos (Δt), variavam em relação ao espaçamento médio (Δt_m). Os QUADROS 11, 12, 13 e 14 mostram os resultados desta investigação, apontando a percentagem de pulsos que estão espaçados dentro da faixa do espaçamento médio ± 1 ou 2 desvios-padrão (σ).

a percentagem dos pulsos cujos máximos mantêm uma distância entre os máximos adjacentes dentro do intervalo da distância média ± 1 ou 2 desvios-padrão (σ).



QUADRO 11 - PERIODICIDADE DOS PULSOS IDENTIFICADOS I
(REGISTRO R0921)

Método de Black		Espaçamento entre os máximos		
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número Total	$(\Delta t_m - 1s) \leq \Delta t \leq (\Delta t_m + 1s)$	
			Número	%
15	1.33	72	63	87.5
21	1.33	71	49	69.0
31	1.33	69	49	71.0
41	1.33	62	47	75.8
* 15	1.33	50	36	72.0
* 21	1.33	47	33	70.2
* 31	1.33	38	27	71.1
* 41	1.33	31	22	68.8

* Método da Média Movente (7 termos).

QUADRO 12 - PERIODICIDADE DOS PULSOS IDENTIFICADOS II
(REGISTRO R0921)

Método de Black		Espaçamento entre os máximos		
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número Total	$(\Delta t_m - 2s) \leq \Delta t \leq (\Delta t_m + 2s)$	
			Número	%
15	1.33	72	68	94.4
21	1.33	71	69	97.2
31	1.33	69	65	94.2
41	1.33	62	61	98.4
* 15	1.33	50	49	98.0
* 21	1.33	47	44	93.6
* 31	1.33	38	35	92.1
* 41	1.33	32	31	96.9

* Método da Média Movente (7 termos).

QUADRO 13 - PERIODICIDADE DOS PULSOS IDENTIFICADOS III
(REGISTRO R0920B)

Método de Black		Espaçamento entre os máximos		
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número Total	$(\Delta t_m - 1s) \leq \Delta t \leq (\Delta t_m + 1s)$	
			Número	%
15	1.33	64	51	79.7
21	1.33	65	40	61.5
31	1.33	59	36	61.0
41	1.33	57	35	61.4
* 15	1.33	45	33	73.3
* 21	1.33	47	35	74.5
* 31	1.33	44	29	65.9
* 41	1.33	38	26	68.4

* Método da Média Movente (7 termos).

QUADRO 14 - PERIODICIDADE DOS PULSOS IDENTIFICADOS IV
(REGISTRO R0920B)

Método de Black		Espaçamento entre os máximos		
Largura da base da janela	Largura à meia altura	Número Total	$(\Delta t_m - 2s) \leq \Delta t \leq (\Delta t_m + 2s)$	
			Número	%
15	1.33	64	59	92.2
21	1.33	65	62	95.4
31	1.33	59	56	94.9
41	1.33	57	56	98.2
* 15	1.33	45	42	93.3
* 21	1.33	47	46	97.9
* 31	1.33	44	42	95.5
* 41	1.33	38	35	92.1

* Método da Média Movente (7 termos).

e) MODELO DO ÍNDICE DE MODULAÇÃO

K. F. TAPPING [11], propôs um modelo para descrever o mecanismo de liberação da energia dos bursts solares, baseado na hipótese de que as pulsações identificadas são decorrentes da modulação das ondas de plasma geradas termicamente por trens de picos (pacotes) periódicos, originadas em regiões instáveis da coroa solar.

Descrevemos, a seguir, o Modelo do Índice de Modulação como apresentado por Tapping; segundo ele, é possível descrever a amplitude de um burst solar através da "Função do Perfil do Burst", $P(t)$, que é dada pela convolução de uma "Função Excitadora", $E(t)$ com a "Função de Decaimento", $D(t)$, tal que

$$P(t) = \int_0^t E(x) D(t-x) dx, \quad (19)$$

sendo $P(t)$ considerado periódico. Assumimos que

$$D(t) = \exp(-\beta t), \quad (20)$$

onde " β " é a constante de decaimento, que depende do processo de geração dos pulsos. A teoria indica que $E(t)$ deve ser da forma

$$E(t) = 1 + \cos(2\pi R t), \quad (21)$$

onde " R " é a taxa de repetição média definida em (15).

O resultado da convolução de $E(t)$ com $D(t)$ fornece a seguinte expressão para a função do perfil do burst:

$$P(t) = \frac{\beta^2 + 4\pi^2 R^2 + \beta(\beta \cos(2\pi R t) + 2\pi R \sin(2\pi R t))}{\beta^2 + 4\pi^2 R^2 + \beta(\beta + 4\pi R)} \quad (22)$$

Assim, o índice de modulação (m) é dado por

$$m = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{P_{\max} + P_{\min}}, \quad (23)$$

onde "P_{max}" representa a função do perfil do burst quando E(t) é máximo, ou seja, quando cos(2πRt) é máximo (cos(2πRt) = 1); e "P_{min}" representa a função de perfil do burst quando E(t) é mínimo, isto é, quando cos(2πRt) é mínimo (cos(2πRt) = -1).

Então substituindo em (22) estes valores máximos e mínimos e calculando m temos

$$m = \frac{\beta}{(\beta + 4\pi R)^{2 1/2}}. \quad (24)$$

Temos também que

$$\frac{(1 - m)^{2 1/2}}{m} = \frac{2\pi R}{\beta}, \quad (25)$$

que expressa uma relação linear entre R e (1 - m)^{2 1/2} / m. (Apenas por simplificação, batizamos (1 - m)^{2 1/2} / m de índice Q).

Na prática, o índice de modulação foi calculado por

$$m = \frac{\overline{P_{\max}} - \overline{P_{\min}}}{\overline{P_{\max}} + \overline{P_{\min}}}, \quad (26)$$

onde

$$\overline{P_{\max}} = \frac{1}{r_{\max}} \sum_{i=1}^{r_{\max}} P_{\max i} \quad (27)$$

e

$$\overline{P_{\min}} = \frac{1}{r_{\min}} \sum_{i=1}^{r_{\min}} P_{\min i} \quad (28)$$

sendo "P_{maxi}" e "P_{mini}" definidos na Fig. 29 ; "r_{max}" é o número total de máximos e "r_{min}" o número total de mínimos.

Os QUADROS 15 e 16 mostram os valores do índice de modulação e do índice Q, para todos os casos dos registros R0921 e R0920B analisados.

QUADRO 15 - ÍNDICE DE MODULAÇÃO E ÍNDICE Q
(REGISTRO R0921)

Método de Black		Índice de Modulação	Índice Q
M	lma		
15	1.33	0.109	9.12
21	1.33	0.104	9.55
31	1.33	0.109	9.16
41	1.33	0.114	8.70
* 15	1.33	0.049	20.32
* 21	1.33	0.055	18.12
* 31	1.33	0.053	18.82
* 41	1.33	0.066	15.06

* Método da Média Movente - 7 termos

Como $Q = 2\pi R/\beta$, o gráfico de Q versus R deve nos fornecer uma reta cuja inclinação é $2\pi/\beta$. As Figuras 55 - 62 mostram justamente estes gráficos, com Q e R obtidos, para cada uma das séries de pulsos identificados, nas diversas vezes que o Método de Black foi aplicado a cada um dos registros de fluxo de energia.

QUADRO 16 - ÍNDICE DE MODULAÇÃO E ÍNDICE Q
(REGISTRO R0920B)

Método de Black		Índice de Modulação	Índice Q
M	lma		
15	1.33	0.136	7.28
21	1.33	0.140	7.08
31	1.33	0.142	6.96
41	1.33	0.142	6.95
* 15	1.33	0.050	19.97
* 21	1.33	0.049	20.46
* 31	1.33	0.054	18.63
* 41	1.33	0.054	18.65

* Método da Média Movente - 7 termos.

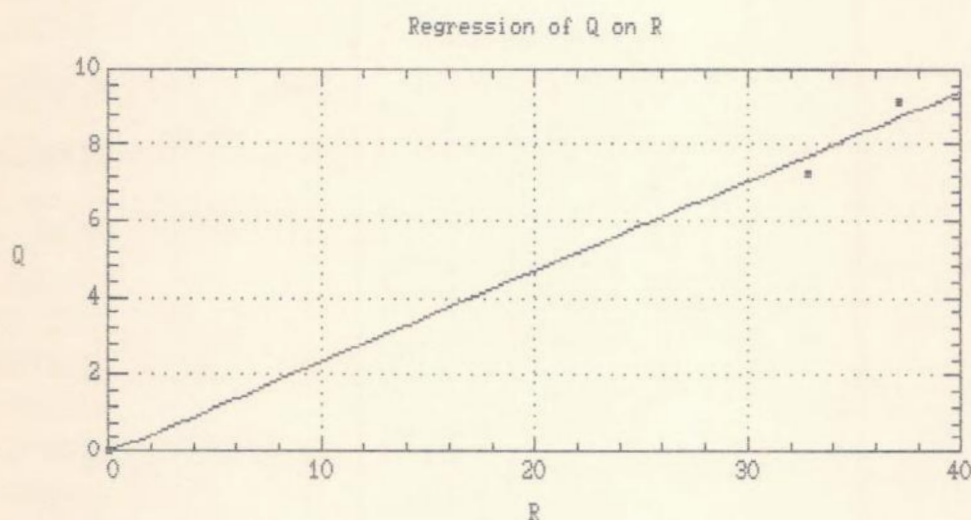


Fig. 55 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=15$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B.

Regression of Q on R

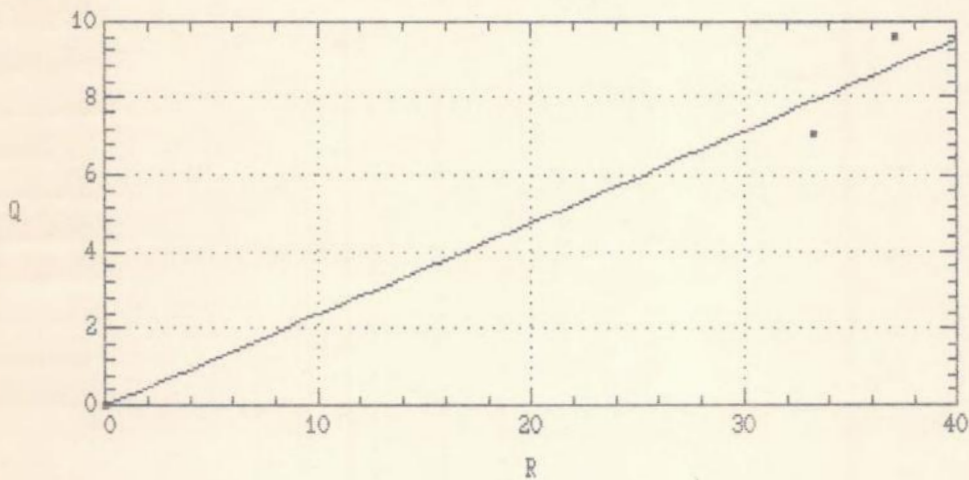


Fig. 56 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=21$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B.

Regression of Q on R

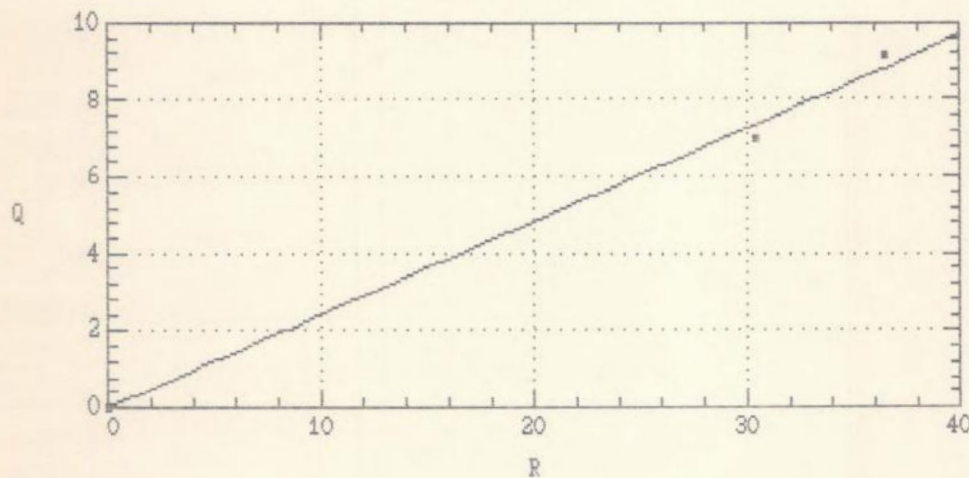


Fig. 57 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=31$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B.

Regression of Q on R

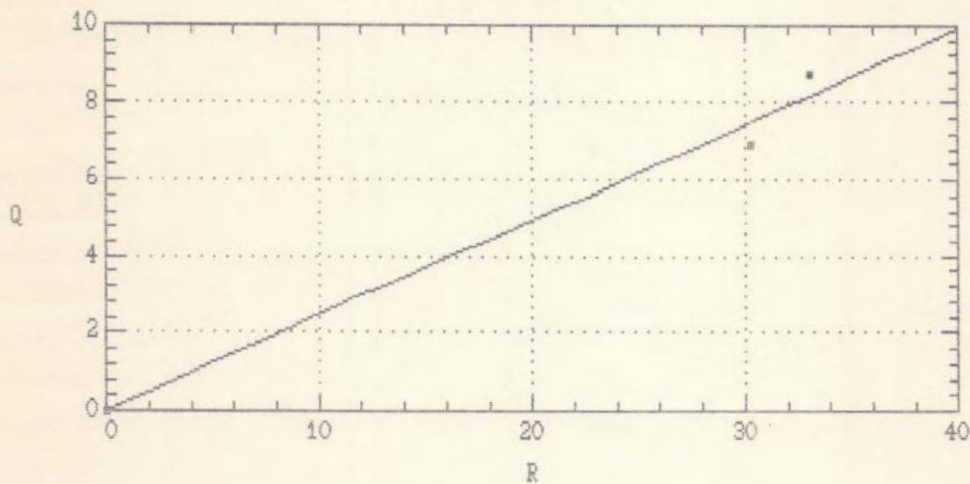


Fig. 58 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=41$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B.

Regression of Q on R

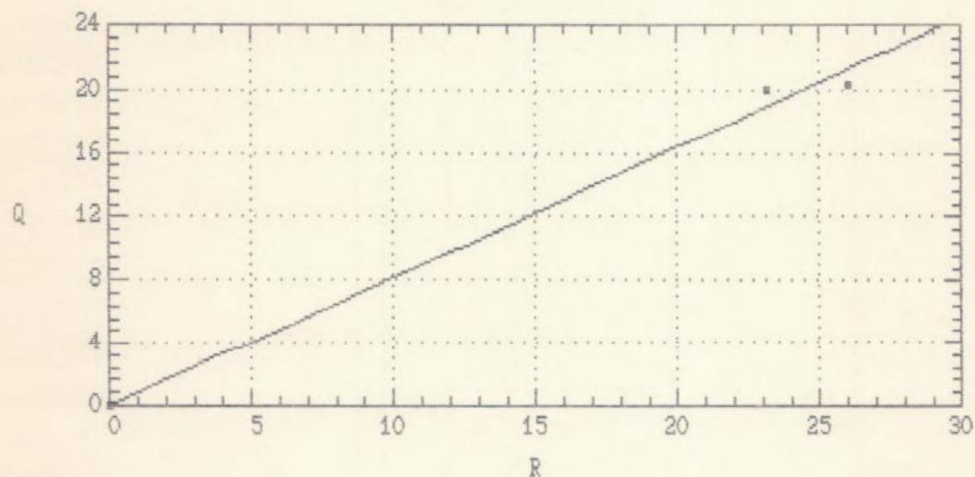


Fig. 59 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=15$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B alisados por média movente (7 termos).

Regression of Q on R

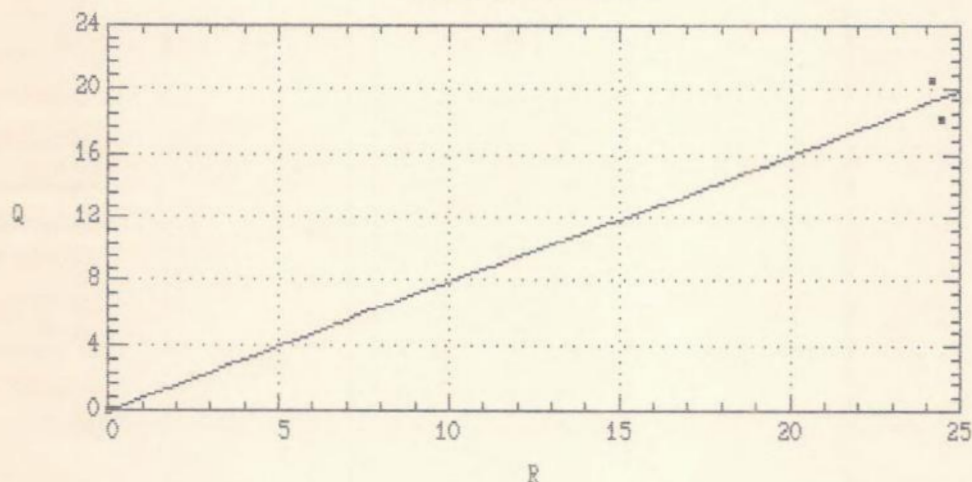


Fig. 60 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=21$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B alisados por média movente (7 termos).

Regression of Q on R

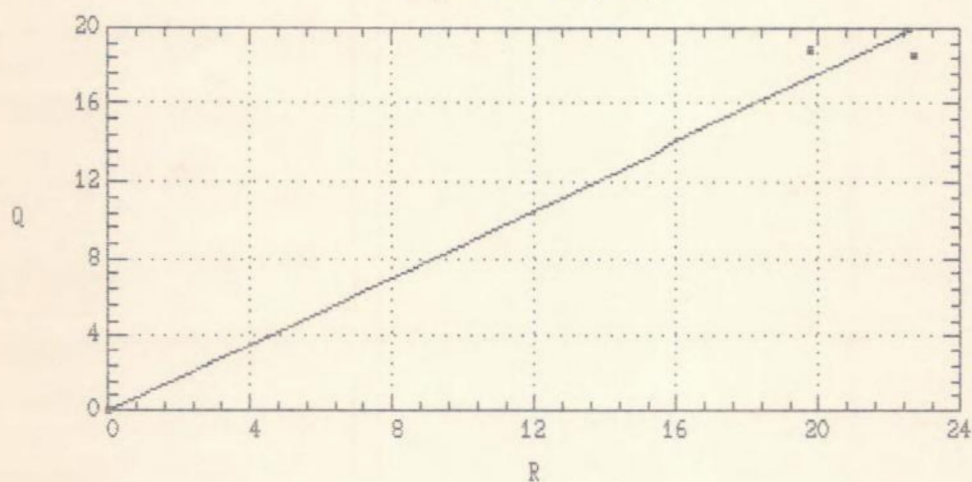


Fig. 61 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=31$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B alisados por média movente (7 termos).

Regression of Q on R

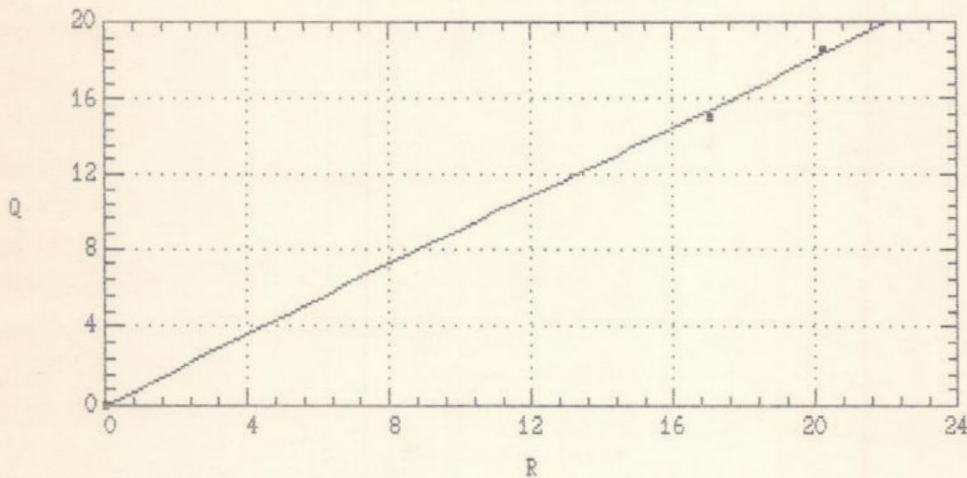


Fig. 62 - Plot do índice Q versus a taxa de repetição média dos pulsos identificados pelo Método de Black com $M=41$ e $b=0.8$, para os registros R0921 e R0920B alisados por média movente (7 termos).

As retas das Figuras 55 - 62 foram ajustadas por mínimos quadrados e foram obtidas a fim de que pudéssemos tirar o valor da constante de decaimento β , pois, como mencionado anteriormente, a inclinação de tais retas é igual a $2\pi/\beta$. O QUADRO 17 mostra os valores de β , obtidos para cada gráfico de Q versus R.

QUADRO 17 - CONSTANTE DE DECAIMENTO (β)

Método de Black		β (1/s)	Coef. de Correlação (Q e R)
M	lma		
15	1.33	26.68	0.9984
21	1.33	26.40	0.9947
31	1.33	25.94	0.9987
41	1.33	25.33	0.9971
* 15	1.33	7.70	0.9985
* 21	1.33	7.92	0.9972
* 31	1.33	7.17	0.9966
* 41	1.33	6.93	0.9997

* Média Movente (7 termos).

V - COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Podemos, a princípio, afirmar que o objetivo do projeto foi atingido, pois conseguimos tanto evidenciar a ocorrência de estruturas temporais compondo o perfil global do fluxo de energia detectado durante os eventos analisados, quanto, promover uma análise minuciosa das propriedades destas estruturas. No entanto, dois aspectos importantes devem ser destacados:

- i) trabalhamos paralelamente com os dados originais e com os dados alisados, portanto, os conjuntos das pulsações evidenciadas em cada um destes casos, apresentaram propriedades distintas;
- ii) o comportamento das estruturas identificadas não concordou totalmente com o predito em investigações anteriores.

A respeito de (i) pudemos concluir que, para os conjuntos de pulsos identificados, as seguintes tendências foram observadas:

- para as séries sem alisamento (inclusive as séries reduzidas), o conjunto que apresentava maior amplitude média, apresentava também maior duração média, enquanto que o de menor duração média, apresentava maior taxa de repetição média; tal tendência foi uma constante para todos os valores da largura da base da janela (M), utilizados na aplicação do Método de BLack;
- para as séries com alisamento, o comportamento das estruturas foi fortemente afetado pelo valor da largura da base da janela escolhida.

Já a cerca de (ii) esperávamos, dentre outras coisas, que a taxa de repetição média das estruturas identificadas, fosse diretamente proporcional à densidade média de fluxo durante o evento, propriedade que não foi confirmada plenamente. Uma possível causa seria o fato desta propriedade ter sido evidenciada em frequências (22 e 44 GHz), com alta diretividade da figura de radiação, acarretando a detecção do fluxo de energia de apenas uma pequena região do sol, o que não ocorre para frequências menores (por exemplo, 1.6 GHz), onde o fluxo detectado compreende toda a extensão do

disco solar; assim uma manifestação própria de eventos individuais, não é evidenciada quando analisamos o fluxo do sol como um todo e talvez por isso tal previsão não tenha sido confirmada em nossas investigações.

Alguns comentários devem ser feitos a respeito dos aspectos que pareceram mais relevantes no decorrer do trabalho:

Método da Média Movente - Mostrou ser um poderoso artifício na remoção de flutuações aleatórias superpostas ao sinal, no entanto, devemos, a priori, sempre conhecer a dimensão das estruturas espúrias não associadas ao verdadeiro sinal (nível de ruído), a fim de que possamos escolher com quantos termos o método deve ser aplicado, para fornecer o melhor alisamento possível (mais eficiência na remoção do ruído com menor perda de informação). Uma dica: o número de termos adotado, nunca deve ser menor do que o equivalente à extensão média do ruído.

Método de Black - A maior preocupação está no fato de que deve-se escolher muito bem os parâmetros para os quais o método será aplicado, pois tais parâmetros são determinantes na identificação das estruturas temporais procuradas. Fora isso, a eficiência e praticidade de tal método foram realmente confirmadas.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Uma continuidade, ou mesmo complementação deste trabalho, seria fazer este mesmo tipo de análise de quasi-quantização e quasi-periodicidade da energia liberada em bursts solares para vários eventos independentes numa única frequência e também, para um único evento, analisando-o, simultaneamente em mais de uma frequência, a fim de se poder confrontar todos esses resultados.

Outra sugestão seria a de tentar evidenciar, através do estudo de processos não lineares (processos turbulentos), que o perfil da série temporal das estruturas quasi-quantizadas é resultante da superposição de padrões de frequências independentes (quasi-periodicidade).

E ainda estudar os mecanismos responsáveis pela ocorrência de tais eventos solares.

VI - BIBLIOGRAFIA

- [1] KAUFMANN, P.; STRAUSS, F. M.; OPPER, R. & LAPORTE, C. - Evidence for quasi-quantization of solar flare mm - wave radiation. *Astron. Astrophys.* **87**: 58-62, 1980.
- [2] KAUFMANN, P. - Microwaves and hard X-rays ultrafast time structures at the impulsive phase of solar bursts. *Rev. Mexicana Astron. Astrof.* **12**: 347-354, 1986.
- [3] KAUFMANN, P.; CORREIA, E.; COSTA, J.E.R.; DENNIS, B.R.; HURFORD, G.J.; & BROWN, J.C. - Multiple energetic injections in a strong spike-like solar burst. *Solar Physics* **91**: 359-376, 1984.
- [4] HAKEN - Order and Chaos in Nature. Springer-Verlag, 1981.
- [5] KAUFMANN, P.; COSTA, J.E.R. & STRAUSS, F.M. - Time delays in solar bursts measured in the mm-cm range of wavelengths. *Solar Physics* **81**: 159-172, 1982.
- [6] TAKAKURA, T.; KAUFMANN, P.; COSTA, J.E.R.; DEGAONKAR, S.S.; OHKI, K. & NITTA, N. - Sub-second pulsations simultaneously observed at microwaves and hard X rays in a solar burst. *Nature* **302**: 317-319, 1983.
- [7] KAUFMANN, P.; STRAUSS, F.M.; COSTA, J.E.R.; DENNIS, B.R.; KIPLINGER, A.; FROST, K.J. & ORWIG, L.E. - Microwave and hard X-ray observations of a solar flare with a time resolution better than 100 ms. *Solar Physics* **84**: 311-319, 1983.
- [8] SLOTTJE, C. - Millisecond microwave spikes in a solar flare. *Nature* **275**: 520-521, 1978.
- [9] DRÖGE, F. - Millisecond fine-structures of solar burst radiation in the range 0.2-1.4 GHz. *Astron Astrophys* **57**: 285-290, 1977.
- [10] ELGARØY, Ø. - On fast pulsations in flare continua. *Solar Physics* **104**: 43-49, 1986.

- [11] TAPPING, K.F. - Meter wavelength pulsating bursts during the May 21, 1972, solar noise storm. *Solar Physics* 59: 145-148, 1978.
- [12] LORAN, J.M.; BROWN, J.C.; CORREIA, E. & KAUFMANN, P. - Interpretation of fast ripple structure in solar impulsive bursts. *Solar Physics* 97: 363-373, 1985.
- [13] WIEHL, H.J. & MATZLER, C. - A class of quasiperiodic microwave bursts as evidence for adiabatic heating. *Astron. Astrophys.* 82: 93-98, 1980.
- [14] JENKINS, G.M. & WATTS, D.G. - Spectral Analysis and its applications. Holden-Day, Inc.: Chapter 1, pg. 9, 1968.
- [15] ROSSI, D.D. - Técnicas de Filtragem na Astronomia (Projeto de Conclusão do Curso de Graduação em Astronomia). Rio de Janeiro, UFRJ, 1980, 62 pp.
- [16] BLACK, W.W. - Application of correlation techniques to isolate structure in experimental data. *Nuclear Instruments and Methods* 71: 317-327, 1969.
- [17] MARTIN, S.F. - Preflare conditions, changes and events. *Solar Physics* 68: 217-236, 1980.

VII - AGRADECIMENTOS

Não poderia deixar de agradecer a

JORGE E ENCARNACIÃO,	pelo carinho, compreensão e apoio e que, junto com
LILIA E HELOÍSA,	foram muito mais do que meros
REINALDO,	professores e sim verdadeiros amigos;
	pelo exemplo e incentivo, alguém com
	quem aprendi muito;
CLÁUDIO CAIRO E	
TUTI,	pela imprescindível ajuda na parte de
	computação;
MINHA FAMÍLIA,	por me deixar fazer o que gosto
	e finalmente
MARILNE,	que, mesmo leiga no assunto, soube,
	como ninguém, questionar, cobrar e,
	acima de tudo, dar uma força nas
	horas difíceis.

A todos, de coração, o meu muito obrigado.

APOIO: CEPG / SR-2 / UFRJ

VII - APÉNDICES

APÊNDICE A - REGISTRO R0921

DADOS ORIGINAIS DE FLUXO DE ENERGIA SOLAR
 UNIDADE: UNIDADES ARBITRÁRIAS / RELATIVAS
 FREQUÊNCIA: 1.6 GHz
 FONTE: RADIÔMETRO DE ATIBAIA PARA PESQUISA SOLAR
 DATA: 09/07/85 - 16:51:05 TU

128	149	157	160	160	148	143	143	146	136	153	161	168	165	156	149
	140	144	157	164	170	173	177	176	167	167	175	174	162	162	177
	175	156	144	117	126	193	204	177	170	164	161	155	157	174	173
	152	151	169	178	191	186	149	154	204	205	152	144	174	171	141
	140	148	165	208	199	144	128	143	150	150	157	173	179	179	181
	182	173	151	145	160	168	187	178	124	111	117	126	159	167	146
	158	208	203	150	138	160	178	205	210	181	169	161	162	186	196
	204	200	172	174	211	206	152	167	218	226	186	175	185	193	180
	187	206	210	196	204	231	241	237	222	182	180	230	240	214	218
	247	256	262	254	217	210	227	227	219	217	223	219	202	207	229
	239	242	240	232	232	244	250	258	257	241	241	267	255	195	182
	204	204	195	213	265	276	239	235	263	261	231	225	224	236	278
	274	224	221	265	266	227	232	285	289	252	247	266	257	211	210
	263	276	262	260	257	263	285	283	249	241	247	251	267	275	284
	281	257	247	239	241	267	280	291	294	278	268	269	255	222	227
	274	269	264	258	257	259	260	262	275	314	312	255	251	284	296
	303	295	267	262	282	284	271	269	274	277	271	280	310	314	292
	294	317	322	309	313	334	344	357	352	314	308	328	327	311	313
	332	335	322	310	288	287	319	332	335	338	330	329	327	333	355
	353	324	325	359	363	359	341	288	297	370	377	318	302	309	314
	339	345	326	338	386	396	378	378	387	381	360	355	366	371	377
	373	351	359	400	403	364	353	355	357	371	369	351	348	359	366
	376	374	350	358	404	405	356	349	375	377	363	363	365	375	405
	403	381	365	340	349	379	400	424	419	400	380	344	336	349	349
	346	354	377	380	360	357	357	368	406	406	371	369	399	404	394
	387	372	379	421	416	351	334	350	348	343	360	396	417	428	380
	361	354	354	353	360	381	384	372	372	383	378	343	350	413	427
	413	404	378	376	400	394	354	345	353	358	376	380	382	374	343
	334	325	337	391	402	385	379	369	362	352	352	368	371	369	364
	347	336	316	319	358	357	312	314	366	370	340	330	325	320	309
	311	333	332	303	308	354	360	335	330	336	336	335	330	316	313
	306	319	370	378	365	351	316	309	326	323	303	305	325	330	323
	334	383	375	293	298	388	385	323	296	291	288	313	333	340	338
	332	326	316	320	345	343	308	295	307	292	250	256	298	314	316
	309	293	287	294	300	312	310	287	290	330	321	252	241	266	276
	294	305	327	321	269	253	249	255	295	299	277	270	267	265	271
	263	237	244	271	290	313	310	293	276	247	242	252	257	268	270

277 266 224 231 288 294 247 239 252 260 281 277 247 243 267
 265 240 235 246 246 239 234 227 238 270 276 250 243 256 249
 222 219 241 238 211 201 190 199 246 251 221 218 236 238 221
 226 257 264 261 255 232 229 245 242 219 215 232 226 196 201
 241 245 214 212 235 237 221 217 229 222 193 191 207 214 220
 224 228 231 234 225 200 196 220 220 201 195 201 210 225 231
 224 224 235 232 214 213 232 228 199 196 217 215 190 178 157
 167 231 244 217 217 232 232 231 217 176 170 190 194 192 199
 220 222 201 185 156 158 209 220 207 200 183 181 193 193 183
 192 220 228 214 208 205 205 216 212 176 187 260 261 214 189
 162 166 189 203 219 209 166 161 198 205 191 188 185 182 174
 177 199 195 163 159 184 191 181 188 214 214 189 189 214 204
 155 150 194 200 183 172 152 164 216 221 171 162 188 186 162
 153 137 150 216 232 221 215 191 184 186 186 192 194 192 195
 203 210 225 224 198 184 169 166 185 193 206 198 154 156 193
 207 212 206 178 181 225 225 199 180 150 156 202 204 158 160
 207 212 177 172 194 192 170 168 184 184 172 173 179 186 201
 192 161 151 162 170 172 182 203 199 180 164 141 141 157 165
 174 176 167 174 202 204 185 180 184 175 150 142 152 164 184
 188 167 156 140 145 188 190 155 154 184 194 188 192 199 185
 147 135 150 154 139 152 202 205 167 162 183 191 193 195 191
 180 164 152 143 154 189 194 165 152 146 141 147 154 163 167
 164 166 178 174 150 153 184 184 150 153 198 196 142 132 146
 156 181 181 161 155 156 153 134 142 189 195 170 165 171 164
 137 135 165 168 141 147 190 193 159 158 188 196 207 191 123
 114 148 154 147 137 115 113 138 151 162 166 152 156 173 176
 164 162 174 168 139 136 157 157 138 142 166 172 163 166 185
 185 163 156 164 157 137 131 122 132 178 191 190 184 154 143
 130 139 189 203 202 194 157 155 170 186 191 185 171 162 155
 154 154 158 170 179 198

APÊNDICE B - REGISTRO R0920B

DADOS ORIGINAIS DE FLUXO DE ENERGIA SOLAR
 UNIDADE: UNIDADES ARBITRÁRIAS / RELATIVAS
 FREQUÊNCIA: 1.6 GHZ
 FONTE: RADIÔMETRO DE ATIBAIA PARA PESQUISA SOLAR
 DATA: 09/07/85 - 16:50:59 TU

218	205	197	187	186	202	199	166	173	231	240	206	208	238	233	191
189	232	235	212	202	194	185	171	164	166	177	206	208	173	166	
174	180	198	204	206	204	189	188	194	198	205	205	192	196	223	
228	228	217	180	182	226	225	178	168	185	186	182	175	152	158	
206	213	193	186	180	188	209	218	215	204	180	174	192	190	170	
166	175	183	191	196	194	198	212	213	197	195	205	204	192	189	
195	191	175	167	150	159	210	215	184	178	187	203	238	242	204	
197	213	214	207	211	230	229	202	188	175	173	196	204	205	206	
201	190	168	161	173	188	217	221	188	173	165	162	176	192	217	
227	217	204	173	173	217	225	205	204	212	203	184	167	144	156	
202	216	202	194	184	182	196	205	220	219	194	178	161	154	167	
187	214	234	249	232	175	165	210	220	206	206	212	205	189	178	
169	185	225	240	230	216	188	183	211	212	182	188	235	250	256	
248	205	197	210	216	229	230	219	218	224	220	197	200	236	242	
231	222	201	197	199	207	232	240	242	240	223	224	249	245	206	
207	237	248	250	233	192	180	201	220	242	155	154	242	255	206	
220	229	245	242	210	206	219	226	237	242	248	246	229	222	220	
218	220	224	231	232	224	214	191	190	220	227	213	218	241	243	
232	224	209	220	264	269	229	223	245	243	221	214	214	214	220	
224	239	228	178	177	212	225	232	231	222	219	222	222	223	218	
202	203	221	221	203	199	198	206	237	234	203	192	195	195	191	
192	198	202	206	207	201	198	199	196	191	196	206	214	222	222	
225	215	181	183	214	222	215	214	224	218	191	198	239	246	219	
206	191	192	224	225	200	196	209	212	205	209	224	219	196	190	
200	197	180	179	198	205	208	205	186	179	179	177	179	185	192	
200	210	196	154	144	170	183	196	197	174	161	148	146	166	180	
193	201	197	191	176	175	193	184	141	137	176	193	208	205	164	
147	130	136	187	197	182	177	169	168	169	174	191	193	196	183	
141	143	169	191	231	233	206	199	202	199	203	188	144	146	189	
197	178	165	149	144	159	184	232	242	201	188	195	191	186	184	
177	182	205	202	176	171	185	180	155	150	166	175	185	186	172	
167	162	165	186	184	160	158	177	184	179	186	207	204	186	173	
155	154	164	169	174	173	174	165	140	144	178	182	158	164	205	
206	163	154	164	170	186	197	215	213	180	170	163	171	214	218	
203	188	156	153	163	174	201	200	173	170	190	196	192	194	198	
190	167	162	180	189	199	198	177	172	179	179	176	177	181	184	
189	179	142	142	191	197	175	166	155	147	134	133	150	155	140	
154	208	210	168	161	188	174	130	135	201	212	194	180	144	138	
145	155	183	192	194	192	167	159	162	168	160	164	177	177	162	

163 173 179 186 176 150 138 140 143 143 148 160 176 217 213
 146 130 151 150 142 148 161 172 186 197 222 215 160 159 213
 210 147 134 149 158 182 183 164 160 166 175 192 194 173 169
 181 178 160 164 197 192 140 144 192 208 203 200 197 194 193
 185 170 161 158 167 187 197 197 191 178 171 171 176 196 192
 154 142 144 145 158 163 151 165 214 207 148 137 169 176 166
 164 160 167 197 191 135 128 152 161 172 169 154 150 158 166
 180 180 159 150 140 143 171 177 161 165 188 188 169 165 174
 171 153 152 170 172 170 161 135 132 146 148 142 142 143 147
 157 155 130 137 186 197 190 179 141 142 174 184 183 180 173
 170 170 160 134 131 159 167 158 162 176 167 128 126 170 182
 180 173 142 146 184 188 157 149 144 154 196 198 186 161 98
 94 129 143 153 148 122 122 152 162 158 163 171 171 166 161
 153 152 148 158 195 189 142 134 164 182 206 205 162 167 233
 223 121 105 140 159 197 196 170 154 133 129 130 139 169 187
 213 210 158 143 144 149 179 182 168 160 148 144 141 143 156
 169 185 194 191 182 160 157 178 182 163 171 211 202 147 136
 168 181 183 186 182 177 169 167 176 176 166 166 177 169 155
 132 87 110 201 222 172 160 175 172 161 158 158 160 170 163
 137 133 156 171 186 192 182 174 163 158 164 153 115 112 152
 160 152 143 118 122 149 160 164 166 170 167 153 152 159 162
 167 165 161 153 134 132 144 146 141 140 138 143 163 168 168
 161 136 136 157 161 152 151 150 155 174 173 153 152 171 174
 159 162 182 184 170 168 173 176 181 178 161 158 166 167 164
 158 144 143 160 160 140 144 177 181 169 160 141 150 199 196
 130 122 158 165 157 157 171 165 133 136 172 178 156 148 145
 145 157 155 136 138 165 175 182 177 174 174 173 176 161 149
 129 129 162 161 134 125 126 136 161 164 130 134 152 149 125
 136 185 194 162 161 187 188 168

MÉTODO DE BLACK

PROGRAMA DESENVOLVIDO POR:

PAULO RENATO ROCHA FERNANDES
&
FRANCISCO CARLOS ROCHA FERNANDES

CRAVINHOS / JANEIRO / 1989

Este programa consiste num método que localiza automaticamente estruturas (picos) em dados experimentais (séries temporais), através da aplicação de correlação cruzada, ou seja, isola um sinal desejado, imerso em um ruído aleatório.

A operação da função de correlação consiste em: tendência de uma forma, não necessariamente funcional, selecionar a si própria, a partir de uma forma mais complexa e rejeitar outras formas contidas no sinal.

Usamos como forma funcional (função de pesquisa), a forma de uma gaussiana, sendo que, neste caso o usuário deve entrar com apenas dois parâmetros: a largura da base da janela (M) e um parâmetro (b), que fornece a largura à meia altura (lma), da gaussiana de pesquisa; além é claro, da série temporal de dados originais.

O programa fornece os valores dos coeficientes de correlação (Ctal). Valores positivos evidenciam a ~~existe~~ existência de estruturas de forma semelhante a da gaussiana de pesquisa.

```

program black;

  const h = 1;                                {CONSTANTE MULTIPLICATIVA}

  var n,                                       {NUMERO DE PONTOS}
      m,                                       {LARGURA DA BASE DA JANELA}
      indice,                                 {1@ ELEMENTO DA CORRELACAO}
      i,                                       {INDICE AUXILIAR GLOBAL}
      j,                                       {INDICE AUXILIAR P/ PEGAR}
      k,                                       {INDICE DE CTAL}
      posicao : integer;                       {POSICAO DO PONTO P/ ALTERAR}

      to,                                     {(M - 1)/2}
      lma,                                    {LARGURA A MEIA ALTURA}
      alt,                                    {ALTURA DA JANELA}
      b,                                       {PARAMETRO P/ CALCULO DE lma}
      media,                                  {MEDIA DOS M VALORES DO VETOR G}
      midia,                                  {DESVIO PADRAO DOS M VALORES DE G}
      corte,                                  {PARAMETRO DE CORTE DO DE EXP}
      desvio,                                  {MEDIA + RAIZ DA MEDIA}
      soma,                                    {SOMA DOS M VALORES DO VETOR G}
      suma,                                    {SOMA DOS QUADRADOS - MEDIA}
      somatoria,                              {SOMATORIA TOTAL}
      ponto : real;                           {VARIAVEL = PONTO P/ MANIPULACAO}

      CTAL,                                   {VETOR DOS COEF. CORRELACAO}
      g : array [1..1005] of real;           {VETOR DOS DADOS ORIGINAIS}

      expressao,                              {VETOR DA GAUSSIANA DE PESQUISA}
      a : array [1..1005] of real;           {VETOR DOS M VALORES DE G}

      pegou,                                   {INDICA SE PEGOU NOVOS M VALORES}
      fim,                                     {INDICA TERMINO DA EXECUSSAO}
      saida1,                                  {SAIDA DA ALTERACAO}
      saida : boolean;                        {INDICA SAIDA DO PROGRAMA}

      opcao,                                   {OPCAO DE IMPRESSAO}
      arq,                                    {OPCAO NA ENTRADA DE DADOS}
      continuar,                              {SE DESEJA CONTUNUAR NO PROGRAMA}
      tecla : char;                           {PAUSA P/ VISAO NA TELA}

      nomeapag,                               {NOME DO ARQUIVO FISICO APAGADO}
      nometal,                                {NOME DO ARQUIVO FISICO P/ CTAL}
      arquivo,                                {NOME DO ARQUIVO FISICO P/ CRIAR}
      arqexist : strig [10];                 {NOME DO ARQ. FISICO EXISTENTE}

      morto,                                  {ARQUIVO P/ APAGAR}
      guarda,                                {ARQUIVO DE VALORES DE CTAL}
      dados,                                  {ARQUIVO DE DADOS}
      auxilio : file of real;                {ARQUIVO AUXILIAR / MANIPULACAO}

```

```

procedure cabecalho;
begin
  clrscr;
  writeln('=====');
  writeln('
                                METODO DE BLACK');
  writeln;
  writeln('=====');
  writeln;
end;

```

```

procedure criar;
begin
  cabecalho;
  writeln;
  write(' NOME DO ARQUIVO (MAX 10 CARAC.) : ');
  readln(arquivo);
  assign(dados,arquivo);
  rewrite(dados);
  writeln;
  write(' NUMERO DE PONTOS : ');
  readln(n);
  writeln;
  writeln;
  for i := 1 to n do
    begin
      write(' ',i:3,' : ');
      readln(ponto);
      write(dados,ponto)
    end;
  close(dados);
  saida1 := true
end;

```

```

procedure coloca;
begin
  clrscr;
  reset(dados);
  rewrite(auxilio);
  write('POSICAO DE INSERCAO (1...N) : ');
  readln(posicao);
  seek(dados,posicao - 1);
  while not eof(dados) do
    begin
      read(dados,ponto);
      write(auxilio,ponto);
    end;
  close(dados);
  close(auxilio);
  writeln;
  write(' DADO PARA INSERCAO : ');

```

```

readln(ponto);
reset(auxilio);
reset(dados);
seek(dados, posicao - 1);
write(dados, ponto);
while not eof(auxilio) do
  begin
    read(auxilio, ponto);
    write(dados, ponto)
  end;
close(auxilio);
close(dados);
end;

```

```

procedure retira;
begin
  clrscr;
  reset(dados);
  rewrite(auxilio);
  write('POSICAO DE EXCLUSAO (1...N) : ');
  readln(posicao);
  for i := 1 to posicao - 1 do
    begin
      read(dados, ponto);
      write(auxilio, ponto)
    end;
  close(dados);
  reset(dados);
  seek(dados, posicao);
  while not eof(dados) do
    begin
      read(dados, ponto);
      write(auxilio, ponto)
    end;
  close(auxilio);
  close(dados);
  rewrite(dados);
  reset(auxilio);
  while not eof(auxilio) do
    begin
      read(auxilio, ponto);
      write(dados, ponto)
    end;
  close(auxilio);
  close(dados)
end;

```

```

procedure listar;
begin
  cabecalho;

```

```

writeln;
writeln(' ARQUIVO ',arquivo);
writeln;
reset(dados);
i := 1;
j := 1;
while not eof(dados) do
begin
read(dados,ponto);
writeln(' ',i:4,' : ',ponto:6:14);
i := i + 1 ;
if j = 15
then begin
writeln;
write(' PRESSIONE QQ TECLA P/ VALORES RESTANTES');
read(kbd,tecla);
writeln;
writeln;
j := 1
end;
j := j + 1
end;
close(dados);
writeln;
writeln;
write(' PRESSIONE QUALQUER TECLA P/ CONTINUAR ');
read(kbd,tecla)
end;

```

```

procedure alterar;
begin
repeat
cabecalho;
writeln;
writeln(' <C>OLOCAR DADOS');
writeln(' <R>ETIRAR DADOS');
writeln(' <L>ISTAR ARQUIVO');
writeln(' <E>XECUTAR');
writeln(' <F>IM');
writeln;
write(' ==> ');
read(kbd,opcao);
writeln;
opcao := upcase(opcao);
while (opcao <> 'C') and (opcao <> 'R') and (opcao <> 'F') and
(opcao <> 'L') and (opcao <> 'E') do
begin
read(kbd,opcao);
opcao := upcase(opcao)
end;

```

```

    case opcao of
      'C' : coloca;
      'R' : retira;
      'L' : listar;
      'F' : saida1 := true;
    end;
  until (opcao = 'F') or (opcao = 'E')
end;
```

```

procedure existente;
begin
  cabecalho;
  writeln;
  write('NOME DO ARQUIVO : ');
  readln(arquivo);
  writeln;
  assign(dados,arquivo);
  write('DESEJA ALTERAR <A> OU EXECUTAR <E> O ARQUIVO ');
  read(kbd,opcao);
  opcao := upcase(opcao);
  if opcao = 'A'
    then alterar
    else begin
      saida1 := false;
      writeln
    end
end;
```

```

procedure apagar;
begin
  cabecalho;
  writeln;
  write(' NOME DO ARQUIVO A SER APAGADO : ');
  readln(nomeapag);
  writeln;
  writeln;
  write(' CONFIRMA OPERACAO ? (S/N) ');
  read(kbd,tecla);
  tecla := upcase(tecla);
  if tecla = 'S'
    then begin
      assign(morto,nomeapag);
      erase(morto);
      writeln;
      writeln;
      writeln;
      writeln(' ARQUIVO " ',nomeapag,' " FOI APAGADO ');
      delay(2200);
      writeln
    end
end;
```

```

    saidal := true;
end;

procedure leitura;
begin
    cabecalho;
    writeln('ENTRADA DE DADOS :');
    writeln;
    writeln('<C>RIAR ARQUIVO');
    writeln('<L>ER ARQUIVO EXISTENTE');
    writeln('<A>PAGAR ARQUIVO');
    writeln('<S>AIDA');
    gotoxy(30,24);
    write('OPCAD >> <<');
    gotoxy(38,24);
    read(kbd,arq);
    arq := upcase(arq);
    while (arq <> 'C') and (arq <> 'L') and (arq <> 'S' and (arq <>
'A') do
        begin
            gotoxy(30,24);
            write(' ');
            gotoxy(30,24);
            write('OPCAD >> <<');
            gotoxy(38,24);
            read(kbd,arq);
            arq := upcase(arq)
        end;
    assign(auxilio,'auxiliar');
    case arq of
        'L' : existente;
        'C' : criar;
        'A' : apagar;
        else saida := true;
    end;
    if (not saida) and (not saidal)
    then begin
        writeln;
        write('LARGURA DA JANELA : ');
        readln(m);
        writeln;
        write('PARAMETRO b : ');
        readln(b);
        writeln
    end
end;

procedure express;
begin
    to := (m - 1)/2;

```



```

lma := (2 * b * sqrt (Ln (2)));
for i := 1 to m do
  begin
    corte := - sqrt(((i - 1) - to)/b);
    if corte < -88
      then corte := -88;
    expressao [i] := Exp(corte)
  end
end;

procedure inicia;
begin
  continuar := 'C';
  media := 0;
  midia := 0;
  indice := 1;
  fim := false;
  saida := false;
  saidal := false;
  k := 1
end;

procedure pegar;
begin
  pegou := true;
  if not ((indice + m - 1) > n)
    then begin
      j := 1;
      for i := indice to (indice + m - 1) do
        begin
          a[j] := g[i];
          j := j + 1
        end;
      indice := indice + 1
    end
  else pegou := false;
end;

procedure calculo;
begin
  soma := 0;
  for i := 1 to m do
    soma := soma + a[i];
  media := soma / m;
  begin
    suma := 0;
    for i:= 1 to m do
      suma := suma + (sqr(a[i] - media));
    midia := Sqrt(suma/(m - 1));
  end;
end;

```

```

desvio := media + midia;
variancia := media + Sqrt (media);
somatoria := 0;
for i := 1 to m do
    somatoria := somatoria + expressao [i] * (a [i] - variancia);
CTAL [k] := somatoria * h;
k := k + 1;
end;

procedure salvar;
begin
    cabecalho;
    writeln;
    write(' NOME DO ARQUIVO P/ SALVAR CTAL : ');
    readln(nometal);
    assign(guarda,nometal);
    rewrite(guarda);
    for i := 1 to k - 1 do
        write(guarda, CTAL [i]);
    close(guarda);
    writeln
end;

procedure imprimir;
begin
    writeln(1st,'===== FUNCAO DE CORRELACAO =====');
    writeln(1st);
    writeln(1st);
    for i := 1 to k - 1 do
        writeln(1st,'    CTAL ',i:3,' ',CTAL [i]:6:10);
    writeln(1st)
end;

procedure resultados;
begin
    cabecalho;
    writeln;
    writeln('          ===== FUNCAO DE CORRELACAO =====');
    writeln;
    writeln('          LARGURA DA JANELA :',m);
    writeln('          PARAMETRO b :',b:2:10);
    writeln;
    writeln('          VALORES :');
    writeln;
    j := 1;
    for i:= 1 to k - 1 do
        begin
            writeln('          CTAL ',i:3,' ',CTAL [i]:6:10);
            if j= 14
                then begin

```

```

        writeln;
        write('PRESSIONE QQ TECLA P/ VALORES RESTANTES ');
        read(kbd,tecla);
        writeln;
        writeln;
        j := 1
    end;
    j := j + 1
end;
writeln;
writeln;
write(' DESEJA SALVAR "CTAL" EM ARQUIVO ? (S/N) ');
read(kbd,tecla);
if tecla := upcase(tecla);
    then salvar;
writeln;
writeln;
write(' DESEJA IMPRIMIR (S/N) : ');
read(kbd,opcao);
if (opcao = 's') or (opcao = 'S')
    then imprimir;
writeln;
writeln;
write('PRESSIONE <T> P/ TERMINAR E QQ P/ CONTINUAR ');
read(kbd,continuar);
continuar := upcase(continuar)
end;

```

```

BEGIN
repeat
    inicia;
    leitura;
    if (not saida) and (not saidal)
        then begin
            reset(dados);
            i := 1;
            while not eof (dados) do
                begin
                    read(dados,ponto);
                    g[i] := ponto;
                    i := i + 1
                end;
            close(dados);
            n := i - 1;
            if m > n
                then fim := true
                 else express;
            while not fim do
                begin
                    pegar;

```

```
        if pegou
            then calculo
            else fim := true;
        end;
    resultados
end
else if saida
    then continuar := 'T';
until continuar = 'T'
END.
```