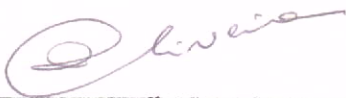


1. Classificação <i>INPE-COM.10/PE</i> <i>C.D.U.: 551.507.362.2:.508.2:508.76</i>		2. Período <i>julho de 1976</i>	4. Critério de Distribuição: interna ☐ externa ☒
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>VHRR, IMAGENS, METEOROLOGIA, SATÉLITES</i>			
5. Relatório nº <i>INPE-902-PE/023</i>	6. Data <i>julho de 1976</i>	7. Revisado por - <i>Marlene Elias</i> <i>Marlene Elias</i>	
8. Título e Sub-Título <i>UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO TRANSMITIDAS POR SATÉLITES METEOROLÓGICOS</i>		9. Autorizado por - <i>Parada</i> <i>Nelson de Jesus Parada</i> <i>Diretor</i>	
10. Setor <i>CEA/SEM</i>	Código <i>413</i>	11. Nº de cópias - <i>10</i>	
12. Autoria <i>J. R. de Oliveira e V. Rodrigues</i>		14. Nº de páginas - <i>18</i>	
13. Assinatura Responsável 		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Desenvolveu-se um sistema de recepção e processamento de imagens de alta resolução, transmitidas pelos satélites da série NOAA, para fins de pesquisa e previsão meteorológicas. O sinal transmitido pelos satélites é recebido sendo a subportadora gravada para reprodução posterior a uma velocidade quatro vezes menor. A demodulação FM é feita pelo processo de detecção digital. Cada linha da imagem é digitalizada e armazenada na memória de um minicomputador. Os dados são retirados da memória e enviados a um impressor fotográfico de precisão. A tambor do impressor gera pulsos que comandam a saída das linhas e sua rotação está sincronizada com o sinal de vídeo. Serão apresentados detalhes do sistema de aquisição e processamento e as imagens obtidas em papel fotográfico.</i>			
17. Observações <i>Trabalho a ser apresentado na 28a. Reunião Anual da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, de 7 a 14 de julho de 1976, em Brasília.</i>			

UM SISTEMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS
DE ALTA RESOLUÇÃO TRANSMITIDAS POR SATÉLITES METEOROLÓGICOS

por

J. R. de Oliveira e V. Rodrigues
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos - SP - Brasil

RESUMO

Desenvolveu-se um sistema de recepção e processamento de imagens de alta resolução, transmitidas pelos satélites da série NOAA, para fins de pesquisas e previsão meteorológicas. O sinal transmitido pelos satélites é recebido sendo a subportadora gravada para reprodução posterior a uma velocidade quatro vezes menor. A demodulação FM é feita pelo processo de detecção digital. Cada linha da imagem é digitalizada e armazenada na memória de um minicomputador. Os dados são retirados da memória e enviados a um impressor fotográfico de precisão. A tambor do impressor gera pulsos que comandam a saída das linhas e sua rotação está sincronizada com o sinal de vídeo. Serão apresentados detalhes do sistema de aquisição e processamento e as imagens obtidas em papel fotográfico.

1. INTRODUÇÃO

Desde 1966, o INPE vem desenvolvendo sistemas de recepção e utilizando imagens transmitidas por satélites meteorológicos. Como resultado de uma evolução permanente, em 1972 surgiram os satélites da série ITOS/NOAA, capazes de transmitir imagens de alta resolução, em duas bandas espectrais, geradas pelos radiômetros VHRR (Very High Resolution Radiometer).

Estes radiômetros detectam por um processo de varredura, a radiação proveniente da Terra, na banda espectral do visível ($0,5 \mu\text{m}$ a $0,7 \mu\text{m}$) e na do infravermelho termal ($10,5 \mu\text{m}$ a $12,5 \mu\text{m}$). Eles giram com uma velocidade de 400 rotações por minuto e apresentam uma resolução, no solo, de cerca de 0,9 km. Os satélites estão a uma altura de aproximadamente 1400 km em órbitas heliosíncronas.

Existem dois modos de operação. Um é o modo normal, no qual os radiômetros trabalham em defasagem de 180°, o que permite a multiplexação temporal dos canais visível e infravermelho. O sinal, assim obtido, modula, em FM, uma subportadora de 99 kHz, que por sua vez modula em FM, a portadora na banda-S (1697,5 MHz). O outro, é o modo de reserva, no qual a multiplexação dos canais é feita em frequência.

2. CARACTERÍSTICAS DO SINAL TRANSMITIDO

No modo normal, os canais visível e infravermelho são transmitidos através de uma subportadora de $99 (\pm 1,4)$ kHz modulada,

em frequência, com desvio de ± 29 kHz. A banda espectral do sinal de vídeo é de 35 kHz para ambos os canais. Para a transmissão pelo modo de reserva, utilizam-se duas subportadoras, sendo uma em 99 ($\pm 1,4$) kHz e outra em 249 ($\pm 1,2$) kHz, ambas com desvio de ± 29 kHz. A subportadora de 99 ($\pm 1,4$) kHz opera somente com o canal infravermelho e a de 249 ($\pm 1,2$) kHz com o canal visível. A forma do sinal de vídeo, para o modo normal, está representada na Figura 1.

3. FUNCIONAMENTO DO SISTEMA

As subportadoras são armazenadas num gravador analógico (Ampex FR 1900). A velocidade de reprodução é quatro vezes menor que a de gravação. Com resultado da mudança na velocidade há uma expansão temporal no sinal, o que implica numa compressão em frequências. Pelo teorema do escalonamento temporal, o espectro de um sinal $f(at)$ é dado por $F(\omega/a)/|a|$.

O sinal reproduzido é demodulado e enviado simultaneamente para o detector de sincronismo e o conversor analógico-digital. O pulso de sincronismo detectado serve como uma das entradas do circuito de servo-controle e comanda o disparo do conversor A/D. A função do circuito de servo-controle é manter constante a rotação do tambor do impressor fotográfico; desta maneira, garante-se a coerência entre o número de linhas que entram na memória e a quantidade de linhas impressas.

As palavras resultantes da conversão A/D são armazenadas, por um determinado tempo, na memória do minicomputador. A retirada e reconversão para o analógico é comandada por um pulso gerado pelo impres

sor fotográfico.

4. DEMODULADOR

O diagrama do demodulador se encontra na Figura 3.

- Filtro de Seletividade

Objetiva selecionar a subportadora, 99/4 kHz ou 249/4 kHz, a ser demodulada em frequência, e atenuar a conversão cruzada. De acordo com as especificações do projeto, procurou-se manter um compromisso entre seletividade e características lineares de fase. Um filtro que satisfaz a estas condições é resultante da composição série de um passa-baixas com um passa-altas de características Butterworth.

As bandas espectrais dos sinais modulados foram calculadas através da lei de Carson, isto é, $B = 2 (\Delta f + W)$, onde, Δf é o desvio máximo das subportadoras, e W a banda espectral de vídeo. Neste caso, $\Delta f = 29/4$ kHz e $W = 35/4$ kHz.

- Limitador/Quadrador

A subportadora selecionada passa por este circuito para normalizar a onda. É utilizada a técnica de limitação com diodos, e ampliação linear, em vários estágios.

O circuito apresenta imunidade a ruído, e assegura uma forma de onda simétrica.

- Gerador de Pulsos

Emprega a técnica de gerar pulsos com largura fixa a cada semi-ciclo do sinal modulado. De acordo com as características deste sinal, existe uma largura ótima de pulso, que proporciona a maior amplitude de sinal demodulado. A largura ótima foi calculada em relação ao período T da subportadora dobrada e obteve-se, $\tau = 0,84T$. A amplitude do sinal demodulado é então dada por $H = 0,49 \times (\text{amplitude dos pulsos})$.

- Filtro de Vídeo

A função deste filtro é separar o sinal de vídeo das outras componentes, resultantes da operação, não linear, de geração dos pulsos. Foi usado um filtro com características de Bessel objetivando evitar o fenômeno de "overshoot", nas variações rápidas do sinal.

5. DETECTOR DE SINCRONISMO

No sinal de vídeo há um trem de pulsos precursores, que permitem diferenciar o pulso de sincronismo do canal visível do pulso do infravermelho, como mostra a Figura 1 e, mais detalhadamente a Figura 4.

O detector de sincronismo se constitui de um circuito, que isola os pulsos precursores e, a partir destes, abre-se uma porta analógica que deixa passar somente o pulso de sincronismo desejado. Ver Figura 5.

6. SERVO-CONTROLE

O servo-controle realiza o controle de fase entre os pulsos de sincronismo e os de referência do impressor.

A precisão do controle é da ordem de grandeza de um elemento da imagem. O circuito consta de um VCO (oscilador controlado por tensão) cuja tensão de controle é obtida de um contador ligado a um conversor digital-analógico de oito bits. O diagrama de blocos do circuito é apresentado na Figura 6. O erro de fase é constatado pela contagem de pulsos de relógio, que aparecem no intervalo de tempo entre os pulsos de sincronismo e os do impressor.

O valor da contagem é convertido em sinal analógico que por sua vez corrige a frequência do VCO, até obter-se o ponto de estabilidade.

7. PROCESSAMENTO DIGITAL

O sinal de vídeo é amostrado a uma taxa de 18680 amostras por segundo, que correspondem aproximadamente a 3400 pontos por linha de imagem. Estes pontos são armazenados na memória de um minicomputador PDP 11/10 por meio de um D.M.A., comandado por um "interrupt" (sinal de interrupção) enviado pelo pulso de sincronismo. Em tempo compartilhado, os pontos (palavras de 8 bits) já armazenados são retirados da memória, em intervalos de 100 μ s, determinados por um relógio interno. Esta operação é iniciada pelos pulsos emitidos a cada rotação do

tambor do impressor. Veja Figura 7.

A palavra correspondente a cada amostra sofre uma correção de gama de cinza para obter-se fotos convenientemente contrastadas. O método de correção consiste em retirar a palavra da memória e transformá-la num endereço, cujo conteúdo é o valor corrigido. O próximo passo, depois de completada a correção, consiste em enviar o valor corrigido ao conversor D/A.

Na Figura 8 encontram-se, esquematizadas, as curvas de correção convenientes a cada canal.

A seguir, o sinal analógico é mandado à lâmpada de crateira do impressor que fornece a luminosidade necessária para sensibilizar o filme.

8. IMPRESSOR FOTOGRÁFICO

Consta de um tambor rotativo, que suporta o filme fotográfico, acionado por um motor síncrono, o qual gera um pulso a cada revolução. Este pulso é produzido por um diodo LED, emissor de luz infravermelha, que é captada por um transistor fotossensível.

As características principais do impressor são:

- dimensões do tambor: 3.52 pol. de diam. x 10 pol.
- rotação do tambor: de 60 a 120 rpm
- densidade de varredura: 500 linhas/pol.
- resolução lateral: 10-0 elementos/pol.
- sinal de entrada: 0 a +5 V
- banda de vídeo: DC a 10 kHz $\pm$ 1 dB

9. CONCLUSÃO

O sistema apresentado neste trabalho é relativamente simples, quando comparado aos similares existentes. Reproduz fotos do visível e do infravermelho, de qualidade altamente satisfatória para fins meteorológicos. Encontra-se em fase operacional, e alguns aperfeiçoamentos estão sendo introduzidos, tais como:

- marcas de referência para localização geográfica e mapeamento;
- correção da deformação geométrica devida à curvatura terrestre;
- e,
- acesso conversacional ao minicomputador.

Além disto estão sendo realizados estudos visando sua adaptação à recepção de imagens transmitidas por satélites meteorológicos geosíncronos.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de expressar os nossos agradecimentos ao Dr. Luiz Gylvan Meira Filho, pelo apoio dado desde o início deste projeto, ao Dr. Cláudio R. Sonnemburg, pela valiosa contribuição, e à Sra. Sueli A. de Godoi Guratti pela datilografia do manuscrito.

BIBLIOGRAFIA

FORTUNA, J. J., L. N. HAMBRICK, The Operation of the NOAA Polar Satellite System. Washington, D.C., U. S. Department of Commerce, November 1974. (NOAA TM NESS 60).

GRUENBERG, E. L. (Editor), *Handbook of Telemetry and Remote Control*. New York, McGraw-Hill, 1967.

SCHWALB, A., Modified Version of the Improved TIROS Operational Satellite (ITOS D-G). Washington, D.C., U. S. Department of Commerce, April 1972. (NOAA TM NESS 35).

VERMILLION, C. H. and J. C. KAMOWSKI, Weather Satellite Picture Receiving Satation, APT Digital Scan Converter. Washington, D. C., NASA, May 1975. (NASA TN D-7994).

VONDER HAAR T. H., D. REYNOLDS and L. LILIE, Direct Readout Meteorological Satellite Data Processing with a Low-cost Computer Lincked System. Colorado, Colorado State University, September, 1974. (Paper n9 227).

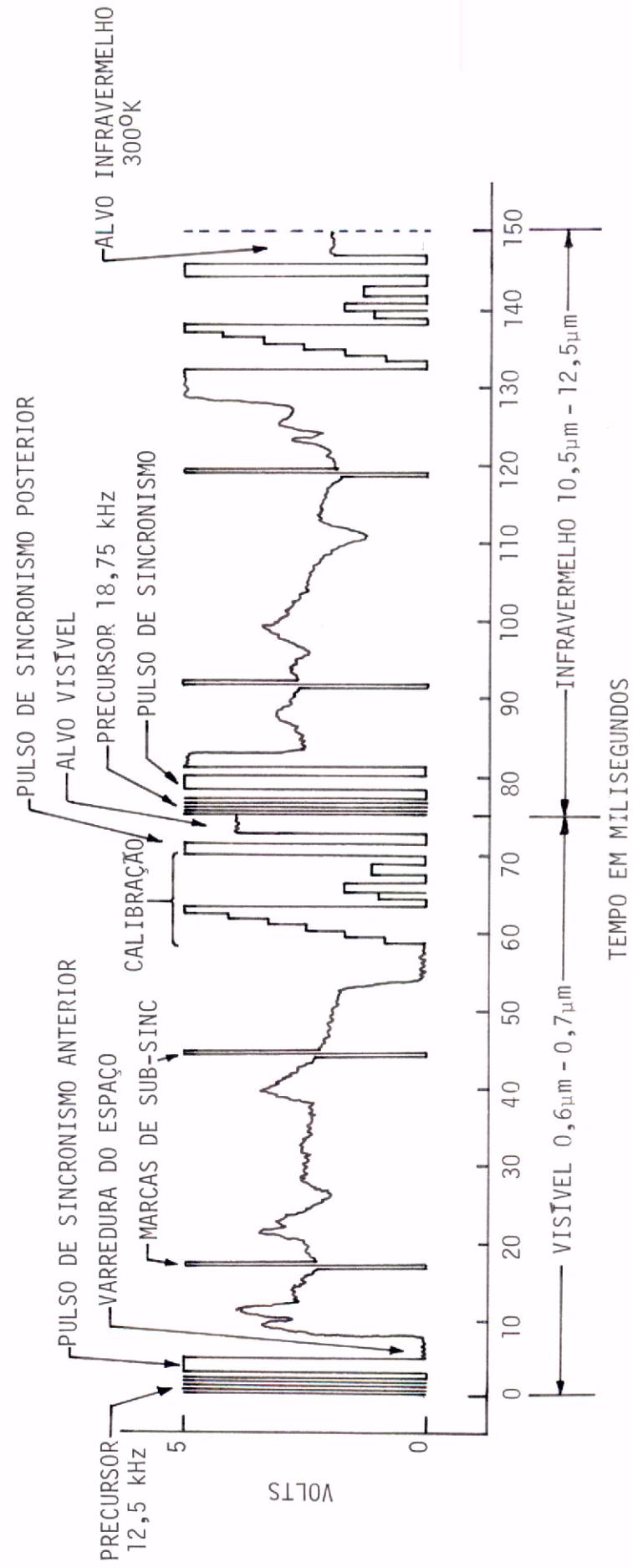
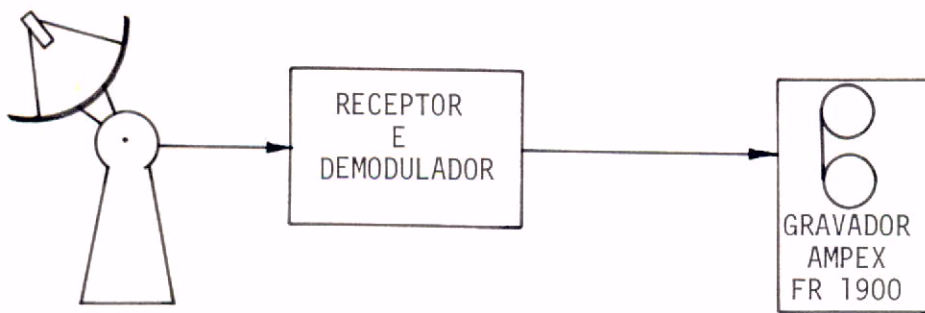


Fig. 1 - Características do sinal de vídeo

GRAVAÇÃO



Velocidade de gravação: 30 pol/s
Taxa do sinal: 400 linha/min
Tempo de gravação: ~ 20 min

Velocidade de reprodução: 7 1/2 pol/s
Taxa do sinal: 100 linhas/min
Tempo de reprodução: ~ 80 min

REPRODUÇÃO

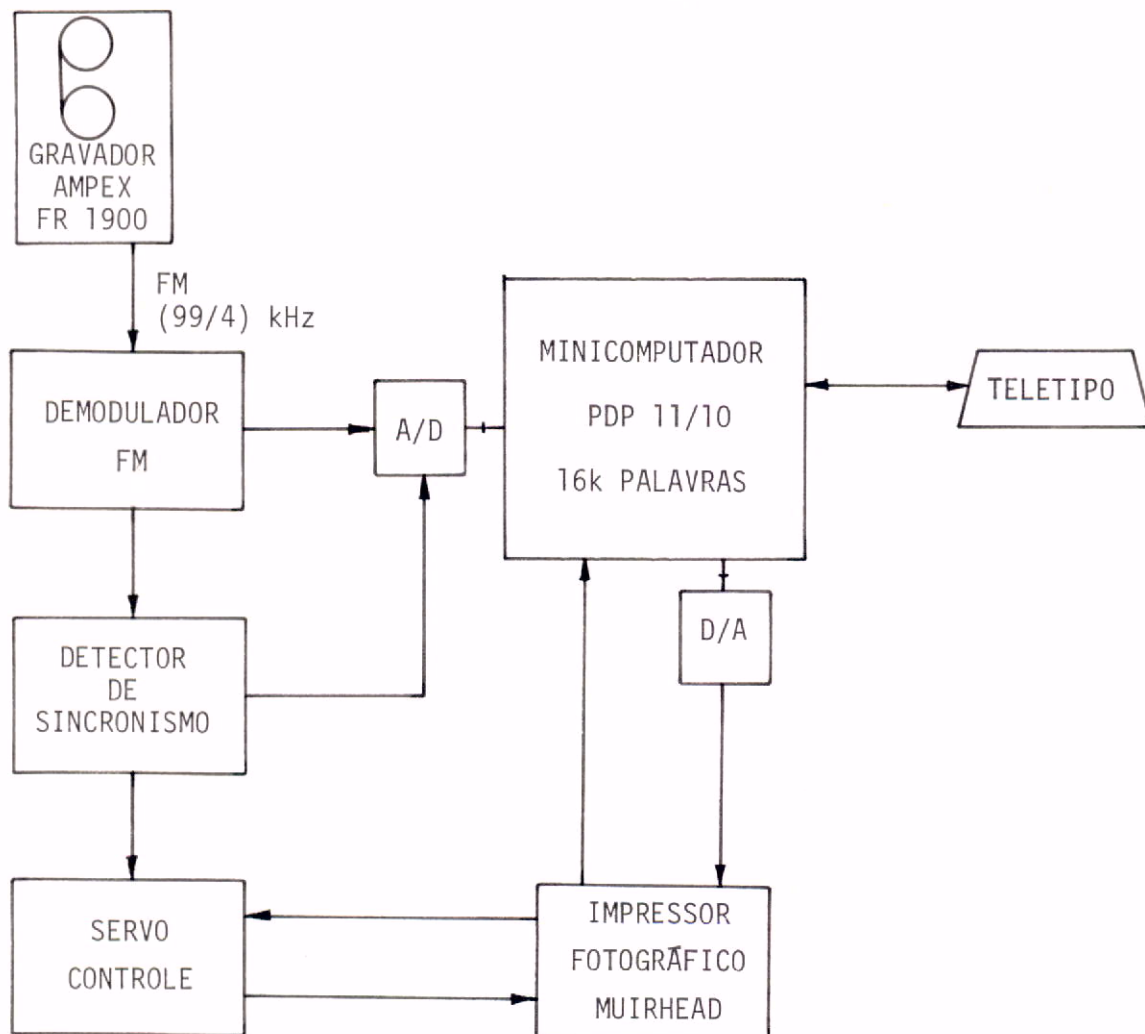


Fig. 2 - Diagrama geral do sistema de aquisição de imagens VHRR.

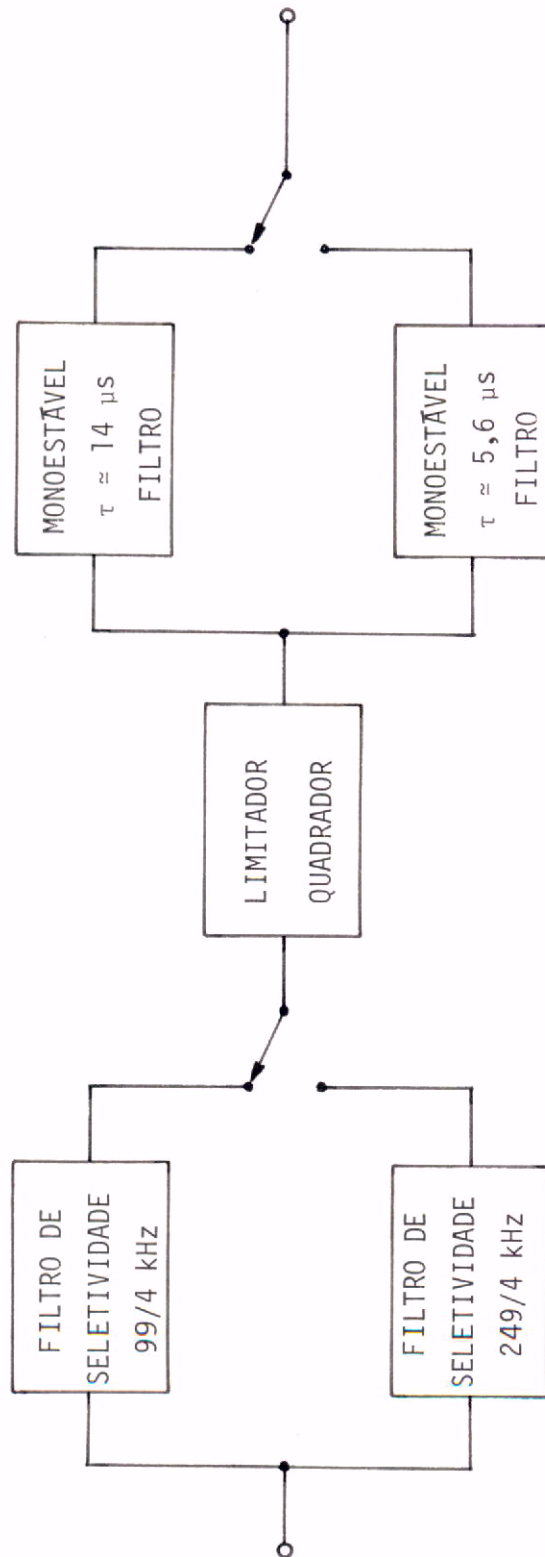


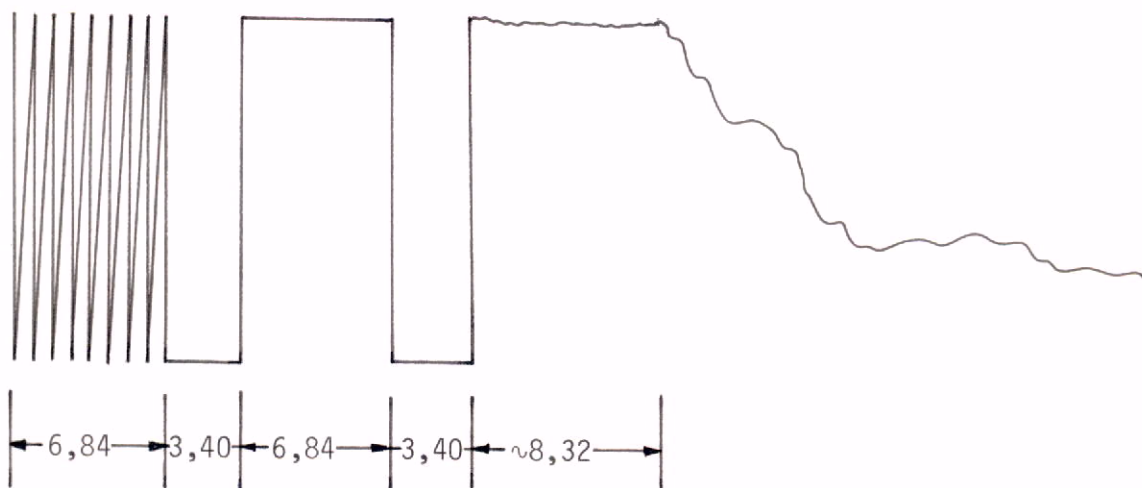
Fig. 3 - Demodulador FM.

VISÍVEL



3,13 kHz

INFRAVERMELHO



4,69 kHz

- valores em milisegundos -

Fig. 4 - Detalhes dos pulsos de sincronismo

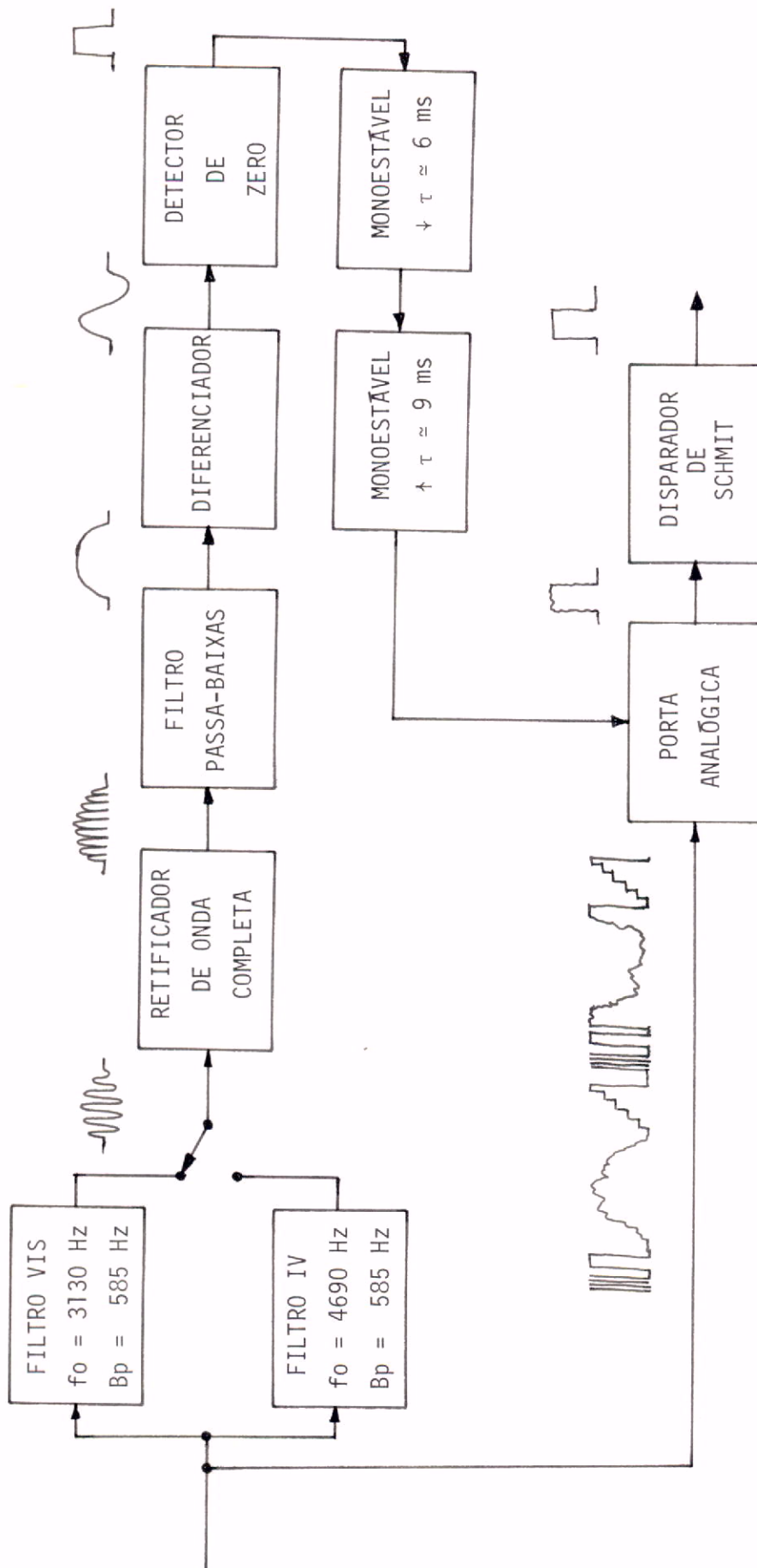


Fig. 5 - Detetor de sincronismo

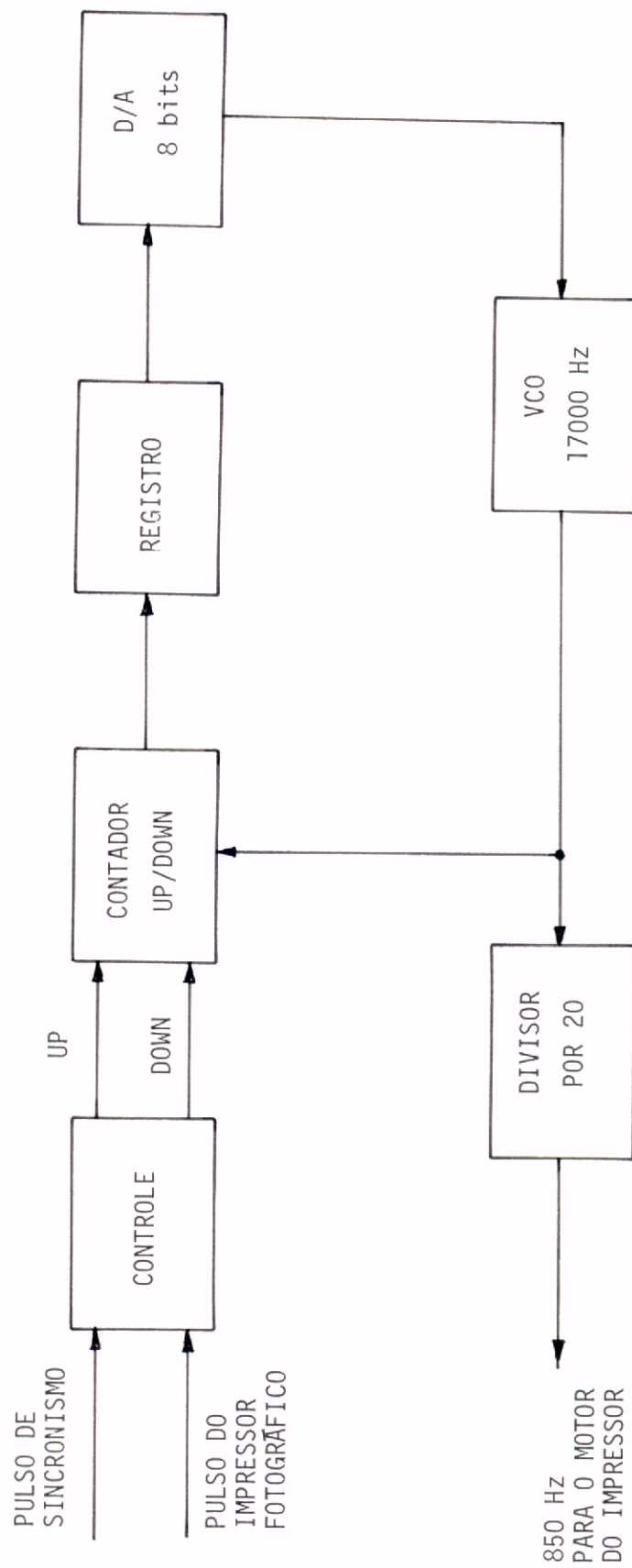


Fig. 6 - Controle de rotação do tambor do impressor fotográfico

Rotina que retira cada ponto (palavra) da memória e transfere ao D/A após fazer a correção de GAMA

Rotina que inicializa o LPS 11 (A/D e DMA) para transferir as palavras para a memória

Rotina para inicializar o relógio KW 11 que dá as interrupções a cada 100 μ s

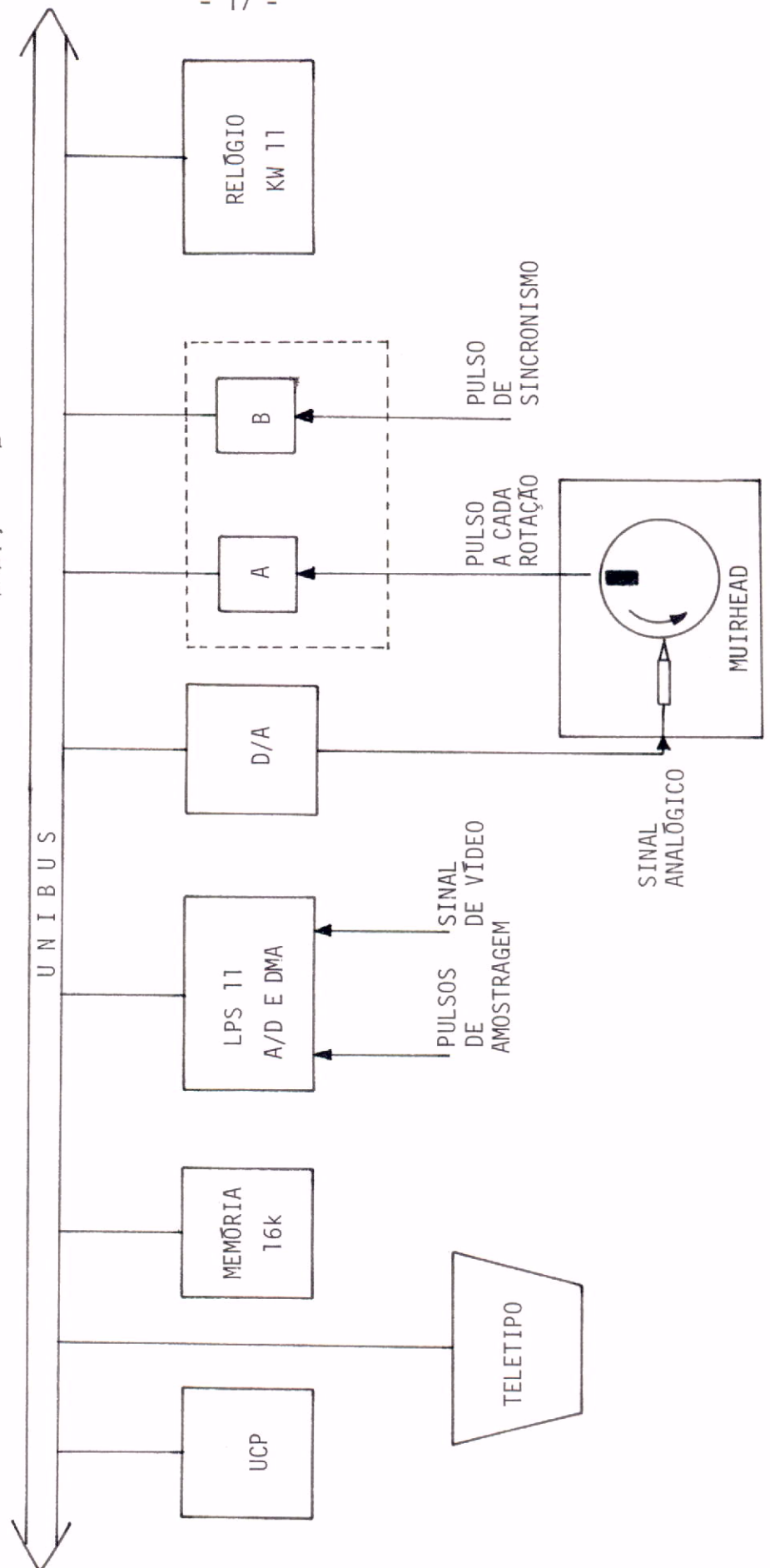


Fig. 7 - Diagrama do processamento digital da imagem

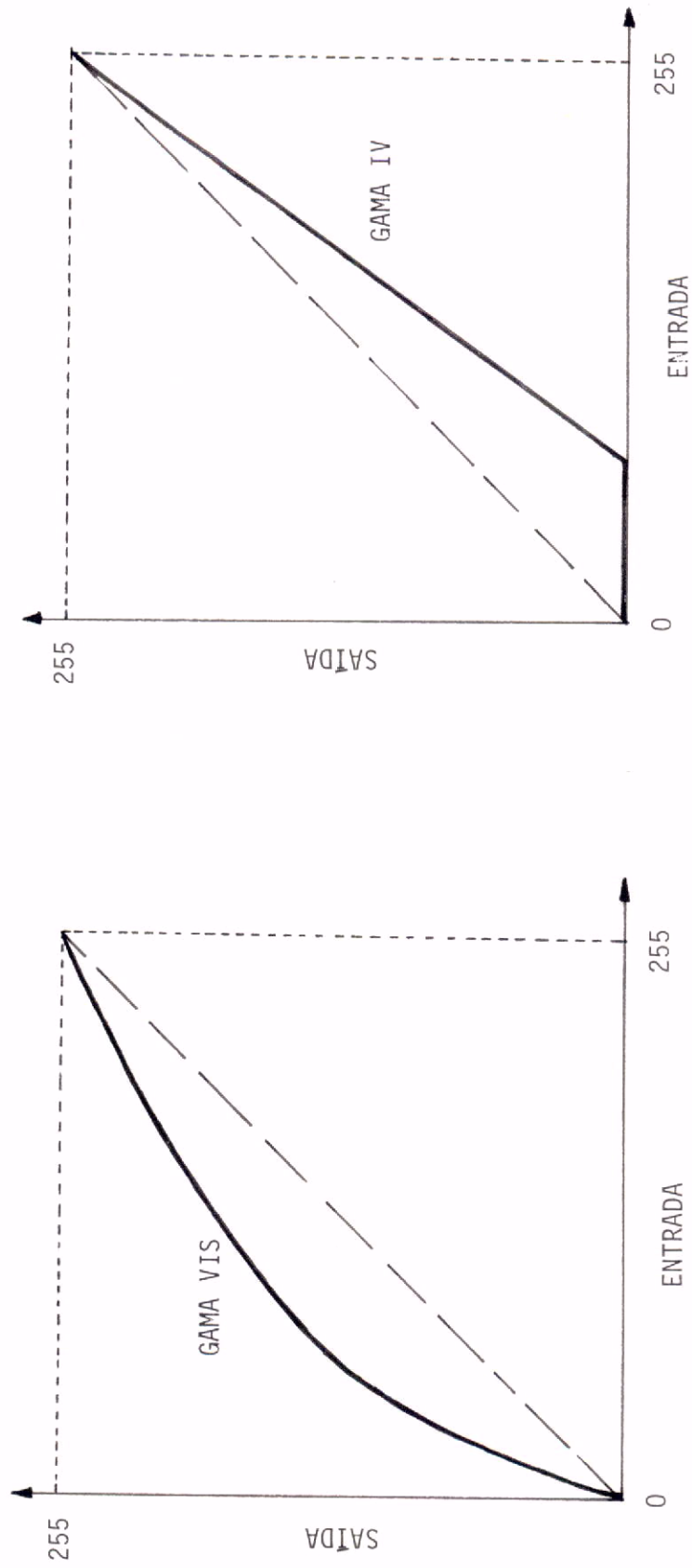


Fig. 8 - Curvas de correção de gama para o visível e infravermelho