

1. Classificação <i>INPE-COM.3/RPI</i> <i>C.D.U.: 551.507.362.2(0473)</i>		2. Período	4. Distribuição
3. Palavras Chaves (selecionadas pelo autor) <i>IMAGENS; SATÉLITE; MEMÓRIA</i>			interna ☒ externa ☐
5. Relatório nº <i>INPE-2022-RPI/045</i>	6. Data <i>Março, 1981</i>	7. Revisado por <i>Valter Rodrigues</i>	
8. Título e Sub-Título <i>RELATÓRIO PARA DIVULGAÇÃO - SISTEMA UAI-I</i>		9. Autorizado por <i>Nelson de Jesus Parada</i> Diretor	
10. Setor <i>DME</i>	Código	11. Nº de cópias 22	
12. Autoria <i>Paolo Pio Gabriele Camilli</i>		14. Nº de páginas 21	
13. Assinatura Responsável <i>Filli</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Este relatório apresenta as características do Analisador de Imagens UAI-I, visando a utilização pelos pesquisadores do INPE, que interagem com o sistema SMS de satélites geoestacionários.</i>			
17. Observações			

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS	<i>iv</i>
LISTA DE TABELAS	<i>v</i>
INTRODUÇÃO	1
UAI - UNIDADE ANALISADORA E ARMAZENADORA DE IMAGENS	1
RESUMO DAS POSSIBILIDADES DO SISTEMA	4
PRODUTOS UAI-I	5
CALIBRAÇÃO DOS DADOS SMS NO INFRAVERMELHO TERMAL	6
CARACTERÍSTICA DO SISTEMA IMAGEADOR	6
PRECISÃO DOS DADOS SMS NO INFRAVERMELHO	6
CALIBRAÇÃO DOS DADOS SMS DO ESPECTRO VISÍVEL	8
MONTAGEM DOS SENSORES NO FOCO DO TELESCÓPIO	9
DESCRIÇÃO DO SISTEMA UAI-I	9
APLICAÇÕES DO SISTEMA UAI-I	15
REFERÊNCIAS	17

LISTA DE FIGURAS

1. Diagrama de Blocos do UAI-I	12
2. Etapa de entrada na unidade de controle UAI	13
3. Etapa de saída na unidade de controle UAI	14

LISTA DE TABELAS

1. Características do sistema SMS	2
2. Características das imagens obtidas no UAI-I	3

INTRODUÇÃO

Neste relatório procura-se apresentar o Sistema para Análise de Imagens, UAI-I, do ponto de vista de um usuário interessado em sua utilização.

Devido a interrelação íntima do Sistema com as características operacionais do Satélite SMS, são também descritos aspectos relativos a esse satélite, quais sejam as características geométricas das imagens e a precisão dos dados obtidos.

Finalmente, discute-se um exemplo de aplicação do Processador de Imagens UAI-I em trabalhos na área de Oceanografia.

U.A.I. - UNIDADE ANALISADORA E ARMAZENADORA DE IMAGENS

O UAI-I consiste em um aparelho para visualização e interpretação de imagens de satélites, dispondo de um Banco de Imagens que podem ser atualizadas e visualizadas em tempo real, isto é, no instante de sua captação na estação receptora de imagens do INPE.

Atualmente, o Sistema está ligado à estação receptora de imagens dos Satélites SMS/GOES, geoestacionário. Num futuro próximo também poderão ser adquiridas, através do UAI-I, imagens dos Satélites TIROS e NOAA de órbita polar.

Embora os Satélites SMS, GOES, TIROS e NOAA sejam comumente chamados de meteorológicos, na verdade eles são satélites para sensoriamento remoto em geral, tendo características específicas que devem ser consideradas em cada aplicação.

Devido ao desenvolvimento de circuitos dedicados para cada função, a operação do UAI-I torna-se bastante simples, não exigindo do usuário conhecimento de qualquer linguagem de programação. A disposição esquemática das funções do painel da unidade de controle UAI-I, torna sua operação bastante intuitiva.

As Tabelas 1 e 2 apresentam as características do sistema SMS (Sincronous Meteorological Satellite) e das imagens obtidas no UAI-I, imagens VISSR (Visible and Infra-Red Spin Scan Radiometer).

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA SMS

Período de Repetição das Imagens	30 minutos
Duração da Transmissão	18 minutos
Tipo de Imagens Transmitidas e Faixa Espectral	visível: 0,55 - 0,75 μ m infra vrm: 10,5 - 12,5 μ m
Área de Cobertura do Sistema Imageador	cobertura global do ponto de vista do satélite SMS-1: 75° longitude oeste, 0° latitude, altitude 36.000 km

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS DAS IMAGENS OBTIDAS NO UAI-I

	visível	infravermelho
Resolução Espacial ⁽⁴⁾ sentido N - S sentido O - L	1 km (1 km) ⁽¹⁾ 2 km (1 km) ⁽¹⁾	7.2 km 4 km
Resolução Radiométrica	1,6% Albedo	0,5 a 1,00C ⁽³⁾
Alcance Dinâmico	0 a 100% Albedo	56,8 a - 109,20C
Número de Níveis de Cinza ou Contagens Digitais	64	256
Número de Pontos/Linha Captados no UAI-I	7644 (15288) ⁽¹⁾	3822 (3822) ⁽¹⁾
Número de Linhas por imagem	15288 (15288)	1821 (1821)
Número de Bits por Elemento de Imagem	6	8 (9) ⁽²⁾

Comentários referentes às Tabelas 1 e 2:

- (1) os números entre parêntesis são os transmitidos pelo Satêlite;
- (2) 8 bits são realmente de vídeo, o nono bit, com informação de grade, assinala meridianos, paralelos e divisões políticas;
- (3) a relação Contagens Digitais (de 0 a 255) x Temperatura não é linear. A resolução do sensor é de 0,50C de 0 a 176 e 10C de 176 a 255;
- (4) *resolução espacial* é a menor distância geográfica que um sistema separa como dois pontos diferentes.

RESUMO DAS POSSIBILIDADES DO SISTEMA

- a) Aquisição em tempo real de imagens no espectro visível ou no infravermelho, qualquer setor, em disco completo ou com ampliação de detalhes.
- b) Registro permanente das imagens adquiridas em número máximo de 18, utilizando memórias de estado sólido RAM, "Random Access Memories". Cada imagem é composta de 512 pontos/ linha e 512 linhas. A capacidade total de memória é de $512 \times 512 \times 18 = 4718592$ bits.
- c) As imagens podem ser gravadas em toda banda tonal ou em banda tonal reduzida, sendo possível no momento da visualização, resolver até o menor contraste tonal que o Satélite proporciona. No infravermelho isso significa a possibilidade de distinguir até 0,50C de diferença de tom de cinza.
- d) Dois monitores de TV de alta resolução estão ligados ao sistema. Um destes é utilizado para visualização de imagens analógicas e o outro monitor, a cores, proporciona imagens com até 8 temas e recebe sinais digitais.
- e) O sistema permite proceder a animação de "loops" fechados de até 16 imagens.
- f) Sete *processadores lógicos*, embutidos no UAI-I, possibilitam por exemplo a operação de "*extração de isotermas*". Em geral, com este recurso, é possível extrair informação da distribuição espacial de quaisquer bandas tonais escolhidas.
- g) A operação de "*extração de vento*" é realizável em modo semi-automático, utilizando-se o circuito de animação.
- h) Empregando dados decodificados por um mini-computador PDP 11/10, das informações de documentação que acompanham a transmissão da imagem, procede-se à correção (ou ajuste) da posição das imagens, de horários diferentes.

PRODUTOS UAI

As saídas de produtos UAI-I ocorrem através de dois monitores de televisão. Não há atualmente meio automático de manter o registro permanente das imagens. Embora o sistema tenha condições de armazenar até 18 imagens, dependendo do número de bits por imagem (níveis de cinza) que se deseja, sua memória é volátil, no sentido de que ocorre perda da informação se o sistema for desligado da energia elétrica.

Convém mencionar aqui que a filosofia deste tipo de Banco de Imagens não é de prover uma Memória de Massa ou Arquivo, mas sim, através do registro das imagens em forma digital, permitir sua análise em tempo real. As imagens gravadas são consideradas como operando ou área de trabalho.

O registro permanente para documentação deve ser providenciado pelo usuário, em forma fotográfica.

Toda área de memória é mapeada diretamente para os monitores de televisão, consistindo de 512 pontos (bytes) por linha e 512 linhas por quadro. Nestas condições, a menor área de imagem do espectro visível que pode ser obtida, mantendo a relação de aspecto original, compreende um quadrado de 1024 km de lado. No infravermelho, esse quadrado de menor área (maior detalhe) tem lado de 4096 km.

O pesquisador que deseja utilizar o Sistema UAI-I para suas finalidades, deve ter bem em mente, três itens fundamentais:

- a resolução espacial do sistema é suficiente para a finalidade?
- qual a resolução radiométrica disponível/necessária?
- qual a faixa espectral disponível/necessária?

vre de nebulosidade devido à condição de alta pressão que se estabelece.

Para trabalhos em que se deseja boa resolução radiométrica ABSOLUTA, independente do modelo físico utilizado para prover correções de temperatura, considera-se essencial a comparação dos dados que representam a verdade terrestre. Estes podem ser provenientes de estações no solo, em aviões ou plataformas marinhas. É importante que estes dados correspondam, em horário, às imagens obtidas, devido à variação diária das condições atmosféricas que filtram essas imagens.

As relações entre contagem digital e temperatura obedecem à curva padrão da NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration):

C - contagem digital

T - graus kelvin

$$C = 660 - 2.0 \times T \qquad 242 < T < 330$$

$$C = 418 - T \qquad 163 < T < 242$$

CALIBRAÇÃO DOS DADOS SMS DO ESPECTRO VISÍVEL

A resposta de voltagem dos canais do visível é linear com a energia incidente. Nos procedimentos de calibração do Sistema Operador do Satélite, são utilizados a energia proveniente do espaço (0% Albedo) e a energia proveniente do Sol. Esta é, atenuada por um prisma que fornece 50% albedo.

Relação entre contagem digital e volts:

$$C = 28,1 \sqrt{V}$$

Relação entre albedo (%) e voltagem:

$$A(\%) = 0,2V \times 100$$

CALIBRAÇÃO DOS DADOS SMS DO INFRAVERMELHO TERMAL

As imagens obtidas pelo Satélite são enviadas a uma estação processadora central, pertencente ao Sistema Operador do Satélite, que procede entre outras tarefas à calibração dos dados de infravermelho e visível e à retransmissão, pelo mesmo satélite, dessas imagens para difusão mundial.

O usuário do sistema SMS dispõe de uma tabela: Contagem Digital (nível de cinza) X Temperatura (°C, °Fahrenheit e graus Kelvin), que não sofre alteração devido ao processo de calibração dos sensores. A calibração introduz correções na relação radiação X Temperatura, que é transparente para o usuário.

CARACTERÍSTICA DO SISTEMA IMAGEADOR

O telescópio do Satélite capta as imagens por varredura Oeste-Leste e por deslocamento Norte - Sul em degraus de $192\mu\text{rad.}$, para cada rotação. A varredura Oeste - Leste é proporcionada pelo próprio movimento de Spin do Satélite, de 100 rpm¹. Da altitude em que se encontra, o campo de visão da Terra é de 20°. A obtenção de uma linha pelo imageador se estende durante 33 ms. Durante o tempo restante (550 ms) de uma rotação do Satélite, a imagem da linha é transmitida para o Sistema Operador em Terra, processada e retransmitida para difusão mundial.

PRECISÃO DOS DADOS SMS NO INFRAVERMELHO

A resolução máxima RELATIVA, de temperatura no infravermelho é de 0,5°C. Isto significa que, dentro da menor área de resolução espacial (8 x 8 km), o sensor procede uma integração (média) dos

¹ Outras taxas de spin (velocidades de rotação) também são possíveis, porém não utilizadas atualmente.

dados radiométricos. O resultado é um valor de temperatura médio para cada campo instantâneo ("pixel").

Precisão RELATIVA significa a capacidade de diferenciar temperaturas diferentes. A precisão ABSOLUTA, no entanto, é afetada por uma série de fatores, tendendo a mascarar a temperatura real do alvo. Entre outras causas de erro poderia ser citado:

- filtragem devido à absorção pela atmosfera e reemissão da radiação do infravermelho. Este efeito tende a produzir temperaturas inferiores às reais, conhecido como "Limb-darkening";
- gazeamento provocado pela intromissão de camadas finas de nuvens;
- variação, no tempo, da temperatura, umidade e pressão atmosférica;
- caminho óptico variável no sentido de varredura Oeste - Leste e Norte - Sul.

Nessas condições, o erro médio (de acordo com a referência 1) para leitura no solo e na superfície do oceano, varia de 3 a 40 Celsius para menos.

Temperaturas observadas no topo de nuvens apresentam o maior desvio em relação aos dados reais, da ordem de 5 a 6 graus, sofrendo o efeito de dois fatores antagônicos:

Devido à absorção atmosférica, as temperaturas tendem a parecer mais frias do que o real; efeito esse que diminui com o aumento de altitude da nuvem devido à diminuição da camada de ar entre o topo das nuvens e o satélite. Por outro lado, a porção de radiação emitida pelo solo que passa entre as nuvens adiciona seu efeito às leituras finais. Isto considerando-se a temperatura do solo da ordem de 300 K e a temperatura do topo das nuvens podendo chegar a 180K.

As melhores leituras de temperatura do solo ocorrem durante as geadas. Nestas situações, a atmosfera se apresenta seca e li

Relação entre albedo (%) e contagem digital:

$$A(\%) = \frac{0,2}{28,1^2} \times C^2 \times 100$$

resposta dos canais tanto no visível como no infravermelho, uma escada de voltagem de 0 a 5 volts.

Os procedimentos de calibração são levados a efeito por ocasião das primeiras quatro linhas de varredura do telescópio, a cada novo período de transmissão, de 30 minutos.

MONTAGEM DOS SENSORES NO FOCO DO TELESCÓPIO

Existem dois sensores de infravermelho, de Hg-Cd-Te, montados ortogonalmente ao eixo de spin do satélite. Um deles produz imagens redundantes em relação ao outro. Ambas as imagens são contidas nas transmissões do infravermelho, o que resulta em um número de pontos por linha (3822) dobrado em relação ao número de linhas. Uma imagem montada nestas condições (todos os pontos e todas as linhas) iria se apresentar achatada, com relação de aspecto de aproximadamente 1/2.

Oito sensores de visível são montados paralelamente ao eixo de spin e conduzem o sinal para oito ampliadores. Para cada linha de varredura do infravermelho, serão obtidas oito linhas do visível. Devido à dificuldade de manter o mesmo ganho para os 8 ampliadores e de uma linha para outra, é possível observar nos tons de cinza menos diferenciados um efeito de estratificação, com um período de 8 linhas do visível, aproximadamente.

Tal efeito não se apresenta nas imagens de infravermelho.

DESCRIÇÃO DO SISTEMA UAI-I

O UAI-I pode ser separado, em relação ao Banco de Imagens, em:

a) Procedimentos de Entrada ou Síntese da Imagem.

b) Procedimentos de Saída ou Análise da Imagem.

a. Procedimento para Síntese da Imagem ou Aquisição

O usuário escolhe o setor da imagem que deseja adquirir, a posição e o tamanho. A posição é dada em coordenadas de "pixel" e número de linha de varredura de acordo com um Mapa de Coordenadas existente. O tamanho varia desde *disco completo* (área máxima) até áreas mínimas possíveis para o visível e o infravermelho, que correspondem ao máximo detalhe.

Para cada procedimento de gravação, só é possível registrar imagens de um só espectro, visível ou infravermelho, mas não ambas simultaneamente.

O setor de imagem selecionado será adquirido pelo UAI-I, automaticamente, no momento de sua recepção pela estação.

Embora o satélite SMS seja geoestacionário, ocorre uma pequena mudança em sua posição orbital, com periodicidade diária. Isto provoca um deslocamento da ordem de 10 "pixels" a cada 2 horas, aproximadamente, nas imagens de máxima resolução (menor área).

O minicomputador PDP 11/10, mediante utilização do programa de navegação, fornece, pelo teletipo, informações que possibilitem ao usuário corrigir, através do UAI-I, esses deslocamentos do Satélite, antes de proceder a gravação. Tais correções são importantes quando se deseja proceder a animação de imagens, para isto é necessário a melhor superposição geográfica possível das imagens componentes.

O "pixel" de vídeo ("byte") de infravermelho é composto de 9 bits. O bit de grade é misturado com a informação de vídeo e portanto, sua gravação em separado não é necessária, com exceção de casos específicos.

O "byte" de vídeo visível é composto de 6 bits.

Os 8(6) bits de infravermelho (visível) são disponíveis para a gravação. As imagens gravadas nessas condições abrangem toda a *banda dinâmica* percebida pelo Satélite, isto é:

	PRETO		BRANCO
Visível: de	0	a	100% albedo
Infravermelho: de	56,8	a	-109,2 °Celsius

Utilizam-se os recursos UAI-I de Preprocessamento para a compressão de "byte", com a finalidade de extrair o máximo de informação em uma banda tonal mais estreita. Tal procedimento permite economia de memória e visualização de detalhes tonais mais finos, que não seriam acessíveis em uma imagem normal.

b. Procedimentos de Saída ou Análise de Imagens

O circuito UAI-I de ANIMAÇÃO permite a comutação de conjuntos de imagens previamente gravadas, para a tela dos Monitores de TV. A animação ocorre em uma sequência fechada, variando até 16 imagens. Um exemplo de aplicação desse circuito ocorre na operação de *extração de vetores de vento*.

O circuito de OPERAÇÕES permite operações lógicas entre imagens diferentes ou entre componentes digitais de uma mesma imagem, possibilitando extrair detalhes tonais específicos. Um exemplo de aplicação seria a operação de *extração de isotermas*.

O bloco CONVERSÃO D/A proporciona a recuperação das imagens originais analógicas, a partir de suas componentes digitais previamente gravadas.

Os circuitos de INTERFACE DIGITAL possibilitam a visualização direta de sinais digitais através de três canais: verde, azul e

vermelho do monitor de TV digital. Este circuito proporciona o realce a cores das imagens, pela técnica de "Bit Slice".

A operação detalhada do Sistema UAI-I está descrita no "MANUAL DE OPERAÇÃO UAI-I", no prelo.

A seguir apresentam-se as Figuras 1, 2 e 3 referentes ao diagrama de blocos do sistema UAI-I, etapa de entrada e de saída da unidade de controle, respectivamente.

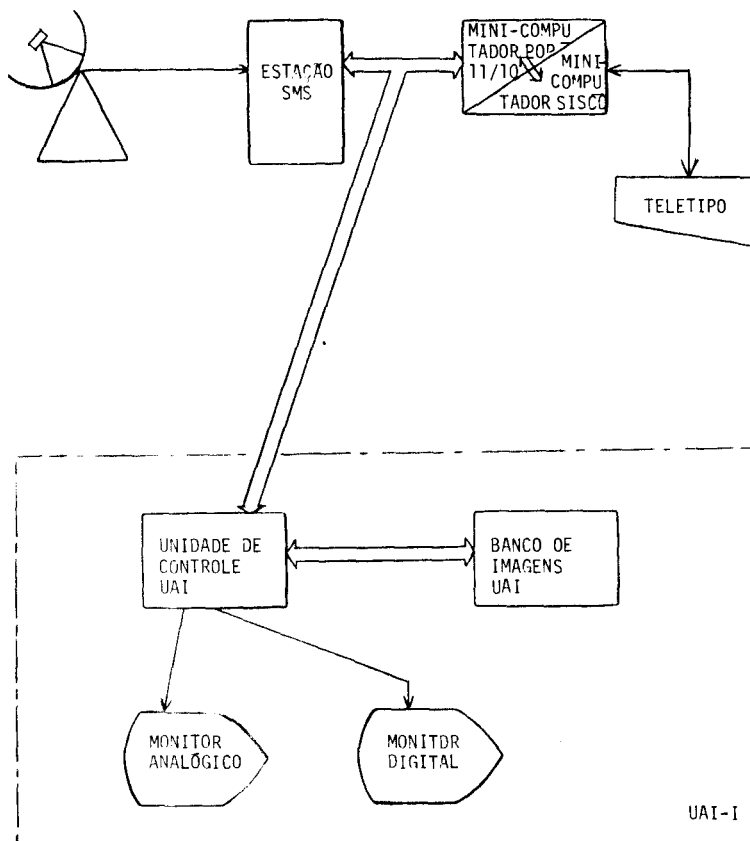


Fig. 1 - Diagrama de Blocos do UAI-I

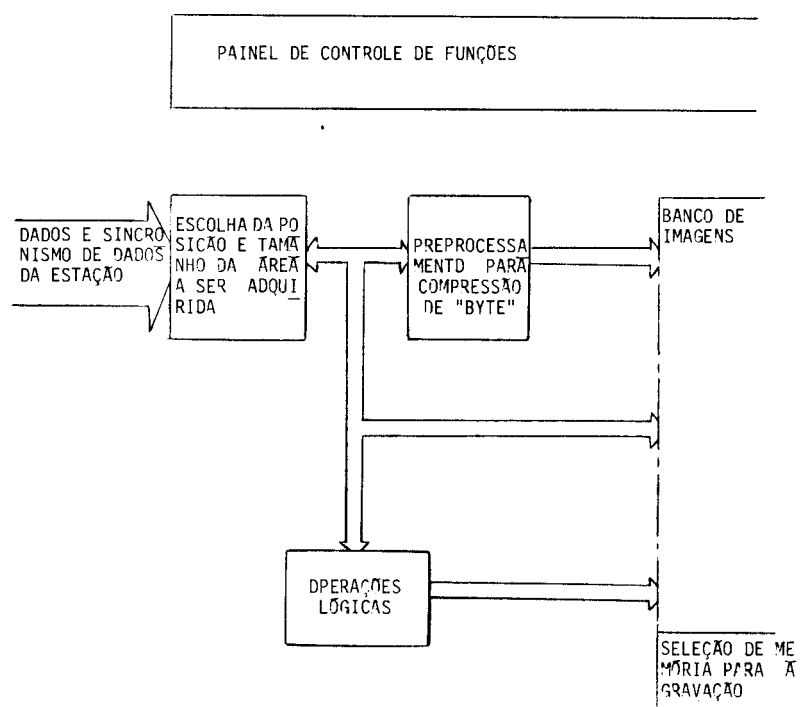


Fig. 2 - Etapa de entrada na unidade de controle UAI.

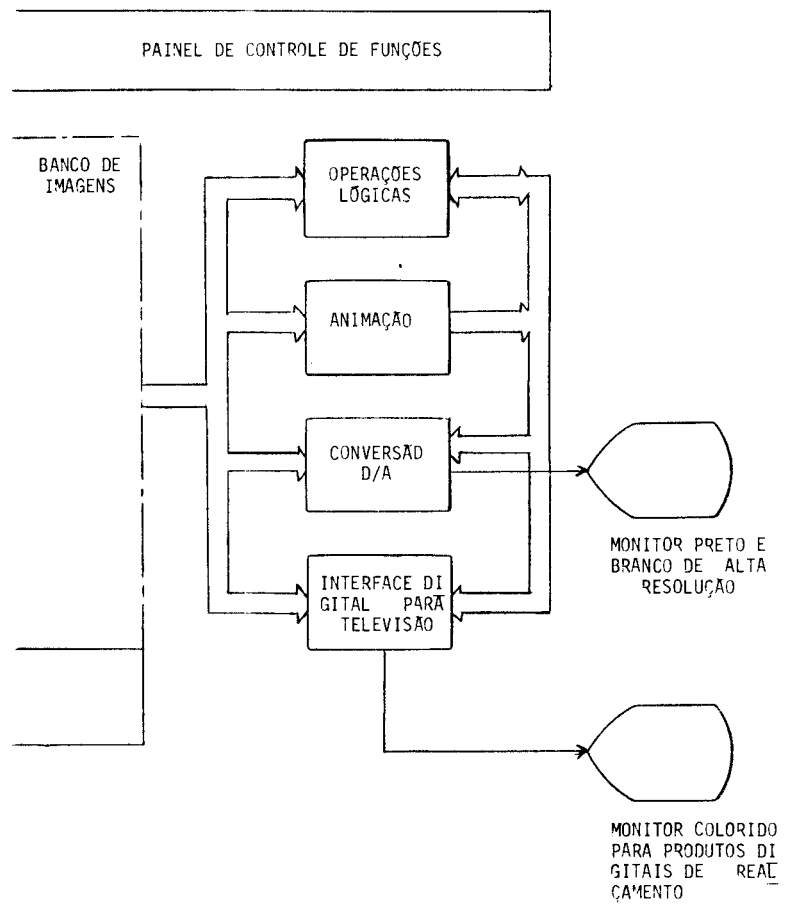


Fig. 3 - Etapa de saída na unidade de controle UAI.

APLICAÇÕES DO SISTEMA UAI-I

Concluindo-se, descrever-se-á, a operação do UAI-I com aplicação à Oceanografia, através de um exemplo prático.

Características Úteis dos Sensores do satélite SMS

Visível

Permite a observação de sedimentos em suspensão na água, que aparecerão nas imagens como tons claros.

Infravermelho

O infravermelho termal do SMS proporciona informações com 0,50C de resolução de temperatura, na faixa de 400C a -100C, de interesse à Oceanografia.

Exemplo de Procedimento

Supondo que se queira observar a evolução da estrutura térmica de uma corrente marítima, procede-se de acordo com as seguintes etapas:

- 1) adquire-se inicialmente uma imagem da área, no espectro visível, para verificar se o campo de observação está livre de nuvens.
- 2) dentro da faixa dinâmica de 0 a 255 níveis de cinza, determina-se a posição e a largura (em contagens digitais) da banda que se quer estudar, do espectro infravermelho.
A largura das bandas pode ser 16, 32, 64, 128 ou 256 contagens digitais.
O televisor digital proporciona até 8 cores para realçamento. O número de contagens digitais por cor será respectivamente: 2, 4, 8, 16 e 32. Com uma resolução radiométrica de 0,50C na faixa de 400C a -100C, o intervalo de temperatura para cada cor, será: 1, 2, 4, 8 e 16 graus Celsius, respectivamente.

- 3) uma vez determinada a posição e a largura da banda tonal de
- 4) grava-se uma sequência de imagens obtidas pelos procedimentos anteriores. O intervalo de tempo entre as imagens é considerado, levando-se em conta a inercia do fenômeno em observação.
- 5) o conjunto de imagens de alta resolução de temperatura é colocado em animação, se assim for desejado.

Mesmo que o pesquisador não possua modelos físicos sofisticados, o comportamento futuro do fenômeno observado poderá ser extrapolado somente pela observação das propriedades geométricas da evolução de imagens animadas.

A animação de imagens obtidas no espectro visível também oferece subsídio importante para estudo de distribuição e difusão dos sedimentos em suspensão nas águas.

REFERÊNCIA

ANDERSON, R.K.; *Application of meteorological satellite data in analysis and forecasting.* ESSA, 1974. (ESSA Technical Report NESC 51).

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA) *Central processing and analysis of geostationary satellite data.* 1975. (NOAA Technical memorandum NESS 64).