



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

AUTORES AUTHORS	PALAVRAS CHAVES/KEY WORDS		AUTORIZADA POR/AUTHORIZED BY
	SATÉLITE NOAA-9, DADOS AVHRR, CALIBRAÇÃO, TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR		<i>Marco Antonio Raupp</i> Diretor Geral
AUTOR RESPONSÁVEL RESPONSIBLE AUTHOR		DISTRIBUIÇÃO/DISTRIBUTION	REVISADA POR / REVISED BY
<i>Keiko Tanaka</i> Keiko Tanaka		☐ INTERNA / INTERNAL ☒ EXTERNA / EXTERNAL ☐ RESTRITA / RESTRICTED	<i>Jorge Conrado Conforte</i> Jorge Conrado Conforte

CDU/UDC		DATA / DATE	
551.46:528.711.7		Março 1988	
TÍTULO/TITLE	PUBLICAÇÃO Nº PUBLICATION NO		ORIGEM ORIGIN
	INPE-4493-PRE/1257		DME
AUTORES/AUTHORSHIP	PROJETO PROJECT		Nº DE PAG. NO OF PAGES
	CALIBRAÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS DE AVHRR PARA ESTIMATIVA DE TEMPERATURA		ULTIMA PAG. LAST PAGE
AUTORES/AUTHORSHIP	Keiko Tanaka Carlos Ho Shih Ning Yoshihiro Yamazaki Valder Matos de Medeiros		29
			19
		VERSÃO VERSION	Nº DE MAPAS NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

Este trabalho apresenta resultados de uma análise quantitativa de dados digitais do sensor de varredura AVHRR (Radiômetro de Resolução Muito Alta), do satélite NOAA-9 nos canais termais, gravados em fita CCT. Os coeficientes de calibração derivados dos parâmetros de referência incluem informações de dados de telemetria como: níveis de energia detectados pelo sensor do AVHRR durante a visada do espaço e a do alvo interno em cada varredura e em cada canal termal. São tomadas as médias radiométricas de 10 (dez) amostras dos dados da visada do espaço e a do alvo interno em cada varredura, por canal, para a determinação de funções de linearização. A cada 50 varreduras foi obtida uma função de radiância linear. Estas funções lineares indicam as variações da radiância do sensor a cada alvo imageado, as quais foram utilizadas para converter os valores digitais das imagens em radiância e, consequentemente, em valores de temperaturas através da função inversa de Planck. São apresentados os principais resultados do processamento de imagens com aplicação do sistema de navegação para uma imagem do dia 18 de abril de 1986, numa área de 256 x 256 "pixels".

OBSERVAÇÕES/REMARKS

Este trabalho foi apresentado na SELPER/86, de 10 a 15 de agosto de 1986, em Gramado/RS.

ABSTRACT

The results of a quantitative analysis of the thermal channels of the NOAA-9 satellite AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) scanning radiometer digital data, recorded on a CCT magnetic tape, are presented. The calibration coefficients derived from the reference parameters contain information on the following telemetry data: the energy levels detected by the AVHRR sensor during space view and the internal calibration target for each thermal channel and each scanning. The linearization functions are found by taking, for each channel, the radiometric mean of 10 (ten) samples of space view and internal target data. The linear radiance was produced by taking the average of 50 scan data. These linear functions give the sensor radiance variations for each target scanned, and were used to convert the digital image data into radiance, and, consequently, into temperature values using the inverse Planck function. The main results of the April 18th, 1986 image processed, applying the navigation system, for an area of 256×256 pixels are presented.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	<i>v</i>
LISTA DE TABELAS	<i>vii</i>
1. INTRODUÇÃO	1
2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA OBTENÇÃO DAS TEMPERATURAS RADIOMÉTRICAS EM FUNÇÃO DE UMA MATRIZ	5
3. CALIBRAÇÃO DOS DADOS DO AVHRR	6
4. TEMPERATURA DO ALVO INTERNO (TAI)	7
5. CÁLCULO DA FUNÇÃO RADIÂNCIA LINEAR	9
6. RESULTADOS E CONCLUSÕES	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 - Área ampliada (256 x 256 "pixels")	12
2 - Histograma de frequência de ocorrência dos "counts" (contagem) versus "count" do canal 4	13
3 - Histograma de frequência de ocorrência dos "counts" versus "count" do canal 5	14
4 - Temperatura de superfície de brilho obtida através da função radiância linear para o canal 4	14
5 - Temperatura de superfície de brilho obtida através da função radiância linear para o canal 5	15
6 - Relação entre as temperaturas de brilho para os canais 4 e 5 ..	16
7 - Mapeamento térmico da temperatura de brilho	16

LISTA DE TABELAS

	Pág.
1 - Aproximação das datas importantes para os satélites que já têm sido lançados para as séries TIROS-N	2
2 - Características espectrais do AVHRR e o campo de visada instantânea (CVI) dos satélites	3
3 - Dados dos 4 TPRs	7
4 - Coeficientes a_{ij} do NOAA-f/9	8
5 - Número de onda central para diferentes faixas de temperatura .	10
6 - Coeficientes de calibração para função radiância linear	12

1. INTRODUÇÃO

A configuração da distribuição térmica do campo de temperatura sobre a superfície da Terra, em várias escalas, sejam elas temporais ou espaciais, tem sido um dos aspectos de grande importância em diversos campos científicos, especialmente em Meteorologia, Oceanografia, Agronomia e Hidrologia. Por outro lado, a grande dificuldade em ter uma rede de observações convencionais distribuída de forma homogênea e uniforme sobre o globo terrestre, limitada pela sua impraticabilidade, quer seja pela vasta região de difícil acesso sobre os continentes, ou pelas imensas áreas oceânicas da Terra, tem sido de uma forma ou de outra fatores preponderantes nas limitações ao desenvolvimento destas ciências, até o final da década de 60.

Com o advento dos satélites meteorológicos e dos sensores especiais que estes levam a bordo, tem sido possível o monitoramento de importantes fenômenos ambientais. O mapeamento da temperatura da superfície da água do mar (TSM), elaborado a partir de dados de satélites, juntamente com esparsos dados coletados por navios, têm sido importantes ferramentas, por exemplo, nos estudos climáticos e dinâmicos do fenômeno que vem sendo muito explorado nesta década na meteorologia - El Niño, e em vários outros campos científicos (Moura and Shukla, 1981; Newell et alii., 1982; Weare, 1982).

O TIROS-N foi o primeiro satélite da série NOAA, do sistema de satélites ambientais operacional americano da terceira geração, lançado em outubro de 1978, em uma órbita polar quase circular, com excentricidade de 0,0011, altitude nominal de 870km e heliossíncrono. Com período orbital de cerca de 102 minutos, produz 14,1 órbita por dia, não apresentando, portanto, as trajetórias suborbitais coincidentes em dias subsequentes, mantendo contudo a hora local da passagem sem grandes variações diárias. Na Tabela 1 são apresentadas as designações, datas de lançamentos e períodos de operacionalização dos satélites que já foram lançados nesta série. Estes satélites foram colocados em órbita com o propósito de servir como uma plataforma espacial estável, equipados com so

fisticados instrumentos destinados ao monitoramento dos meios ambientes terrestres. Uma descrição detalhada dos instrumentos locados a bordo destes satélites encontra-se na publicação de Schwalb (1978).

TABELA 1

APROXIMAÇÃO DAS DATAS IMPORTANTES PARA OS SATÉLITES
QUE JÁ TÊM SIDO LANÇADOS PARA AS SÉRIES TIROS-N

SATÉLITE	DATA DE LANÇAMENTO	PERÍODO DAS DATAS OPERACIONAIS
TIROS-N	13/out/78	19/out/78 - 30/jan/80
NOAA-6	27/jun/79	27/jun/79 - 05/mar/83
NOAA-8	29/maio/80	Falha no lançamento
NOAA-7	23/jun/81	24/ago/81
NOAA-8	28/mar/83	03/maio/83 - 12/jun/84
NOAA-9	12/dez/84	25/fev/85 - presente

FONTE: Kidwell (1985).

Dentre os vários instrumentos a bordo dos satélites da série NOAA, o Radiômetro Avançado de Resolução Muito Alta (AVHRR) é um dos mais importantes. Trata-se de um radiômetro multiespectral, acoplado a um sistema de varredura transversal à trajetória orbital, que provê dos analógicos nos campos de visada instantânea e bandas espectrais, conforme apresentados na Tabela 2. Estão também incluídas nesta tabela as especificações dos satélites NOAA-D, G, H, I, J, programados para lançamento nesta série. O campo de visada instantânea (CVI) de cada sensor é de cerca de 1,4 milirradianos e apresenta uma resolução no ponto sob satélite de aproximadamente 1,1km para uma altitude nominal de 844km. A varredura transversal é feita por incrementos do CVI, perfazendo 2048 amostras por linha, à taxa de 360 linhas por minuto. Um aspecto que cabe ser ressaltado é o cuidado que o usuário deve ter na utilização dos dados do canal 3 do AVHRR, visto que por problemas técnicos este tem apresentado

muito ruído, especialmente durante as passagens diurnas, em todos os satélites desta série.

TABELA 2

CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS DO AVHRR E O CAMPO DE VISADA INSTANTÂNEA (CVI)
DOS SATÉLITES TIROS-N/NOAA

CANAIS	TIROS-N (μm)	NOAA-6,8,G (μm)	NOAA-7,9,D,H,I,J (μm)	IFOV (milirradianos)
1	0,55 - 0,90	0,58 - 0,68	0,58 - 0,68	1,39
2	0,725 - 1,10	0,725 - 1,10	0,725 - 1,10	1,41
3	3,55 - 3,93	3,55 - 3,93	3,55 - 3,93	1,51
4	10,50 - 11,50	10,50 - 11,50	10,30 - 11,30	1,41
5	repete o canal 4	repete o canal 4	11,50 - 12,50	1,30

FONTE: Kidwell (1985).

O radiômetro AVHRR substituiu seu precursor, o Radiômetro de Resolução Muito Alta (VHRR), de duas bandas espectrais. O VHRR foi colocado a bordo dos satélites da série ITOS, "Improved TIROS Operational Satellite", de segunda geração e foi basicamente projetado para identificação e determinação de altura e cobertura de nuvens. Com o advento do AVHRR, tornou-se possível melhorar não apenas a qualidade, como também aumentar a aplicabilidade dos produtos desse radiômetro. Os mapeamentos diurno e noturno da cobertura de nuvens, da temperatura da superfície do mar e da terra, a obtenção de previsão de precipitação e a configuração do campo de ventos são apenas algumas das inúmeras aplicações que podem

ser feitas com dados do AVHRR. O Serviço Nacional de Dados e Informações de Satélite Ambiental da Administração Atmosférica e Oceânica Nacional (NESS/NOAA), dos Estados Unidos da América, vem elaborando cartas da TSM, de todo o globo, de forma operacional (GOSSTCOMP - Global Operational Sea Surface Temperature Computation), desde 1972, baseado nas medidas dos canais infravermelhos dos satélites da série NOAA (Brower et alii, 1978). Não obstante, este mapeamento vem sendo periodicamente revisto e as técnicas de obtenção da TSM vêm se aperfeiçoando às novas metodologias e descobertas obtidas. Neste sentido, são inúmeros os trabalhos já publicados sobre esta questão, tanto na determinação da TSM como nas análises, técnicas de controle de qualidade ou de correções devido aos efeitos da atenuação atmosférica. Smith et al. (1970) desenvolveram um método para determinação da TSM, a partir dos dados dos satélites NIMBUS-2 e 3, aplicando técnicas estatísticas e análise de histogramas mediante comparações entre dados de verdade terrestre e dos sensores na banda do infravermelho. Prabhakara et alii (1974) desenvolveram um modelo que utiliza a transmitância na região de 11 a 13 μ m para obtenção da TSM com dados do NIMBUS-3 e 4. Takaki (1977) obteve a TSM utilizando dados da banda do infravermelho medidos pelo VHRR do satélite da série NOAA. Huh e DiRosa (1981), em suas análises e interpretações dos dados da banda do infravermelho do AVHRR do satélite TIROS-N, na região oeste do Golfo do México, constataram que os dados da TSM obtidos estavam 2^o abaixo das medidas feitas, utilizando duas bóias ancoradas ao longo do paralelo 26^oN no Golfo. Strong e McClain (1984) utilizaram métodos multicanais para obtenção da TSM, com dados AVHRR, e também constataram erros quadráticos médios tomando estimativas com dados de satélites e de bóias da ordem de 0,6^oC e satélites com navios da ordem de 1,8^oC. Muitos outros trabalhos vêm sendo feitos na tentativa de melhorar ou de aperfeiçoar as técnicas atualmente conhecidas. Certamente, esta é uma área que ainda requer grande empenho de pesquisa.

O presente trabalho foi iniciado com o propósito de suprir dados de temperatura de superfície, em tempo quase real, nas operações, pesquisas e desenvolvimentos da área de Meteorologia e Oceanografia. O objetivo final é dispor de um sistema semelhante ao processamento que é

feito no GOSSTCOMP, limitado pela região coberta pela passagem do satélite NOAA. Será aqui apresentada apenas a primeira parte do trabalho, que consiste basicamente na descrição da calibração dos dados AVHRR, feita seguindo o método descrito por Lauritson et alii(1979) para transformar níveis térmicos dos dados digitais do satélite NOAA em temperaturas radiométricas. Mostrar-se-á a análise quantitativa obtida com o sistema desenvolvido aplicado à gravação do dia 18/04/86, órbita nº 6945, às 18h 08m 52s TMG, gravado no formato FULL.

2. PRINCÍPIOS BÁSICOS DA OBTENÇÃO DAS TEMPERATURAS RADIOMÉTRICAS EM FUNÇÃO DE UMA MATRIZ DE PONTOS DE UMA IMAGEM DO TIROS-N

As imagens dos satélites da série NOAA, assim como qualquer imagem fotográfica, podem ser consideradas em termos de matrizes de pontos, onde a correspondência biunívoca é feita considerando que cada "pixel" (elemento de menor resolução da imagem) determinado pela intersecção entre linhas e colunas da imagem constitui um elemento da matriz. Ou seja, ao elemento de menor resolução da imagem, que é de aproximadamente 1,1km por 1,1km (no solo) no "NADIR" (ponto de intersecção entre a linha vertical à superfície da terra que passa pelo satélite e superfície da terra), se associa um elemento da matriz, observando que os pontos mais distantes do "NADIR" apresentam retângulos maiores e mais distorcidos. Cada "pixel" ou ponto é representado por um retângulo com uma tonalidade de cinza característica, sendo que na imagem os pontos apresentam tonalidades que variam desde o cinza bem claro até o cinza escuro (quase preto). Atribuindo ao "pixel" mais escuro da imagem o valor 0 (zero) e ao "pixel" mais claro o valor 1023, todos os outros "pixels" da imagem terão valores que variam entre o 0 (zero) e 1023. Os valores desses "pixels" podem, portanto, ser armazenados sob a forma de 10 bits, ou seja, 1 byte, representando de forma conveniente $2^{10} = 1024$ níveis diferentes de cinza.

A tonalidade do nível de cinza de cada ponto da matriz imagem é uma função da energia média proveniente do "pixel" correspondente no solo, energia esta denominada *Radiância* ($\text{mW}/\text{sr.m}^2.\text{cm}^{-1}$). Portanto, um

ponto de maior radiância aparecerá mais escuro que um de menor radiância, originando assim a escala de cinza que compõe as imagens fotográficas dos satélites. Estas medidas de radiâncias podem ser convertidas em temperaturas a partir dos dados dos sensores no infravermelho termal, como por exemplo dados dos canais 3, 4 e 5 da Tabela 2.

O sistema desenvolvido na Estação de Recepção de Satélites Meteorológicos do INPE/Cachoeira Paulista (SP) permite, na configuração atual, armazenar e gravar os dados digitais do AVHRR de 02 canais com resolução de 10 bits (FULL) ou de 03 canais com resolução de 08 bits (COMPR). Para o desenvolvimento do presente trabalho e de outros associados aos dados dos satélites da série NOAA, foram desenvolvidos "softwares" específicos de pré-processamento, para atender às necessidades dos aplicativos específicos (Ning et alii, 1986).

3. CALIBRAÇÃO DOS DADOS DO AVHRR

Tendo em vista que os radiômetros a bordo dos satélites são tão sujeitos a uma degradação em sua performance, quando em órbita, é necessário ajustar convenientemente as medições fornecidas pelos sensores. Este aspecto é levado em consideração através da recepção dos dados de calibração que é feita a bordo, dados estes fornecidos pelos satélites NOAA em cada varredura transversal do AVHRR. Os dados desta calibração são determinados por um processo que envolve a exposição dos radiômetros para um alvo de calibração a bordo do satélite (ACI/interno), calibrados de acordo com um padrão, estabelecendo uma relação entre a radiância medida pelo radiômetro e a que ela fornece como resultado. Tendo em vista que os sensores na banda espectral do infravermelho são pré-calibrados, antes do lançamento do satélite, em um meio que simula o espaço, o satélite fornece também, quando em órbita, dados radiométricos da visada do espaço para fins de calibração (AVE).

A calibração radiométrica dos dados AVHRR foi feita seguindo a metodologia descrita por Lauritson, L. et alii (1979). Assim, para a calibração dos dados nos canais 3, 4 e 5, foram utilizados os dados da visada do espaço (AVE), do alvo de calibração interno (ACI) e dos quatro

termômetro de resistência de platina (TRP) que medem a temperatura do ACI. Estes dados são fornecidos pelos satélites em cada varredura, com certa redundância, sendo que para cada cinco varreduras consecutivas é fornecido um dado de referência (REF), e nas linhas consecutivas, sequencialmente, os dados dos 4 TRPs, conforme indicado na Tabela 3.

TABELA 3

DADOS DOS 4 TRPs

HRPT	PARÂMETRO AMOSTRADO
.	.
.	.
.	.
n	REF
n + 1	TRP1
n + 2	TRP2
n + 3	TRP3
n + 4	TRP4
n + 5	REF
.	.
.	.
.	.

FONTE: Lauritson (1979).

Seguindo as sugestões da NESS, foram consideradas 10 amostras de TRP para a determinação de um valor médio de contagem (count) do TRP. Este valor médio foi assim considerado para a conversão em unidades de temperatura. Quanto aos dados do alvo interno e da visada do espaço, estes foram obtidos considerando valores médios de apenas 50 amostras. Muito embora se tenha observado que Inoue (1958) utilizou em seu trabalho valores médios de 200 amostras, foram aqui consideradas apenas 50 amostras, sem se preocupar com as implicações que acarretariam se as médias fossem tomadas sobre as 200 amostras.

4 - TEMPERATURA DO ALVO INTERNO (TAI)

A temperatura média do alvo de calibração interna, em graus Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), é obtida convertendo inicialmente os valores médios

das imagens (counts) dos termômetros de resistência de platina (TRPs) fornecidos pelo satélite. Esta conversão é feita obtendo inicialmente a temperatura do alvo de calibração interna para cada TRP, em graus Kelvin, pela expressão:

$$T_i = \sum_{j=0}^4 a_{ij} \bar{X}_1^j, \quad (1)$$

onde a_{ij} são coeficientes obtidos na calibração dos termômetros antes do lançamento dos satélites, os quais são fornecidos pela NESS para cada satélite (Tabela 4 para o NOAA-9); $\bar{X}_1 = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^4 X_{im}$ é o valor médio das contagens dos TRPs e a temperatura média pela expressão:

$$T = \sum_{i=1}^4 b_i T_i, \quad (2)$$

onde b_i é o fator de peso de cada termômetro, também fornecido pela NESS ($b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = 0,25$ para NOAA-9).

A conversão de $\bar{T}$ para unidades de radiância (N_T) foi feita usando a equação de Planck, como descrito no Apêndice C de Lauritson et alii(1979). Os coeficientes necessários para esta conversão são fornecidos para cada satélite e disseminados pela NESS através de boletins de informações.

TABELA 4

COEFICIENTES a_{ij} DO NOAA-F/9

AVHRR					
TRP	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
1	277,018	,05128	0,0	0,0	0,0
2	276,750	,05128	0,0	0,0	0,0
3	276,862	,05128	0,0	0,0	0,0
4	276,546	,05128	0,0	0,0	0,0

5. CÁLCULO DA FUNÇÃO RADIÂNCIA LINEAR

Segundo Lauritson et alii(1979), a obtenção da radiância é feita supondo que ela pode ser descrita, para cada canal, como uma combinação linear do valor da contagem (X) e da radiância (N) obtida por essa contagem, isto é:

$$N = GX + I,$$

onde N é o valor da radiância detectada em miliwatts/m² esferorradiano cm⁻¹; X, o valor das contagens (que variam de 0 a 1023 para dados gravados com resolução de 10 bits); G, o valor do ganho de cada canal em miliwatts/m² esferorradiano cm⁻¹ por contagem; I, o parâmetro de intersecção do canal em miliwatts/m² esferorradiano cm⁻¹, definido como radiância para contagem (X) nula.

O ganho de cada canal é calculado por:

$$G = \frac{N_{sp} - N_{\bar{T}}}{\bar{X}_{sp} - \bar{X}_{\bar{T}}}, \quad (4)$$

onde N_{sp} é a radiância do espaço fornecido também pela NESS, valores estes que mudam de um satélite para outro; N _{$\bar{T}$} , a radiância à temperatura média $\bar{T}$ já definido; $\bar{X}_{sp}$ o valor médio das contagens nas visadas do espaço. Estes parâmetros médios são calculados tomando 10 amostras de cada canal em cada varredura do AVHRR. $\bar{X}_{\bar{T}}$ são as médias dos valores das contagens obtidas em 50 amostras com os radiômetros visando o espaço e o alvo de calibração interno (ACI).

O parâmetro de intersecção de cada canal é calculado por:

$$I = N_{sp} - G \bar{X}_{sp}. \quad (5)$$

Assim, tendo a função radiância linear, substitui-se o valor das contagens X em cada ponto do alvo terrestre observado pelo satélite e obtêm-se a radiância (N) correspondente.

Finalmente, a conversão da radiância detectada N para a temperatura de brilho foi efetuada através da equação de radiância de Planck, na forma inversa, seguindo o procedimento descrito por Kidwell (1985):

$$T(N) = \frac{C_2 \nu}{\ln \left(1 + \frac{C_1 \nu^3}{N} \right)},$$

onde T é a temperatura ($^{\circ}\text{K}$) para o valor da radiância N, ν é o número de onda central (cm^{-1}) e C_1 e C_2 são constantes ($C_1 = 1,1910659 \cdot 10^{-5}$ mili watts/ cm^2 esferorradiano cm^{-4} e $C_2 = 1.438833 \text{cm} \cdot ^{\circ}\text{K}$).

A Tabela 5 mostra os números de onda central ν (cm^{-1}) dos canais 3, 4 e 5 dos satélites TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 e NOAA-9 em três intervalos de temperatura. Em particular, no presente trabalho, foram tomados os valores dados para a NOAA-9, nos canais 4 e 5 para as respectivas faixas de temperatura. Os números de ondas centrais são aqueles que produzem o menor erro quando aplicados à função inversa de Planck.

TABELA 5

NÚMERO DE ONDA CENTRAL PARA DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA

T($^{\circ}\text{K}$)	TIROS-N		NOAA-6		NOAA-7			NOAA-8		NOAA-9		
	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 5	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 3	Ch. 4	Ch. 5
180-225	2631,81	911,13	2649,90	910,72	-----	926,20	840,100	2631,52	913,360	2670,93	928,50	844,41
225-275	2635,15	911,54	2653,90	911,41	2670,3	926,80	840,500	2636,05	913,865	2674,81	929,02	844,80
275-320	2638,05	912,01	2658,05	912,14	2671,9	927,22	840,872	2639,18	914,305	2678,11	929,46	845,19

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Quando o satélite imageia a superfície terrestre, através de varreduras perpendiculares à direção de seu deslocamento, transmite para as estações rastreadoras informações de dados de uma varredura (linha) dos canais visível e térmico e seus respectivos dados de calibração, linha por linha.

Os resultados dos processamentos são referentes àqueles obtidos com os dados dos dois canais na faixa do infravermelho termal, do AVHRR, do satélite heliossíncrono NOAA-9, no dia 18 de abril de 1986, órbita nº 6945. Estes dados foram gravados no formato FULL da Estação de Recepção de satélites do INPE/Cachoeira Paulista, durante a passagem do satélite, a partir das 18h 08m 52s TMG. Na Figura 1 é apresentada a área ampliada de uma passagem particular, cujos dados foram processados para a determinação da temperatura de brilho no computador Burroughs - B6800. Essa área é constituída por 256 x 256 "pixels" e está apresentada na Figura 1 de forma ampliada. Trata-se de uma região com pouca cobertura de nuvens na área oceânica, localizada nas vizinhanças de Ilha Bela / Estado de São Paulo, cobrindo o litoral Paulista desde cerca de 23^o até 24^o de latitude sul. Os dados de calibração para as 256 linhas da citada imagem foram obtidos considerando as linhas 1972 até 2041, processados para os canais 4 (10,30 a 11,30 μm) e 5 (11,50 a 12,50 μm).

Na Tabela 6 são apresentados os coeficientes de calibração obtidos no processamento, a partir dos parâmetros de referência fornecidos pelo satélite no início da varredura de cada canal termal (canais 4 e 5 do infravermelho). São eles: nível de energia detectado pelo sensor AVHRR durante a visada do espaço e do alvo interno para cada canal. Conforme mostra esta tabela, a cada 50 varreduras foi obtida uma função radiância linear ($N = GX + I$). Estas funções lineares indicam as variações da radiância do sensor para cada alvo imageado, os quais foram utilizados na conversão dos dados digitais das imagens em radiância.

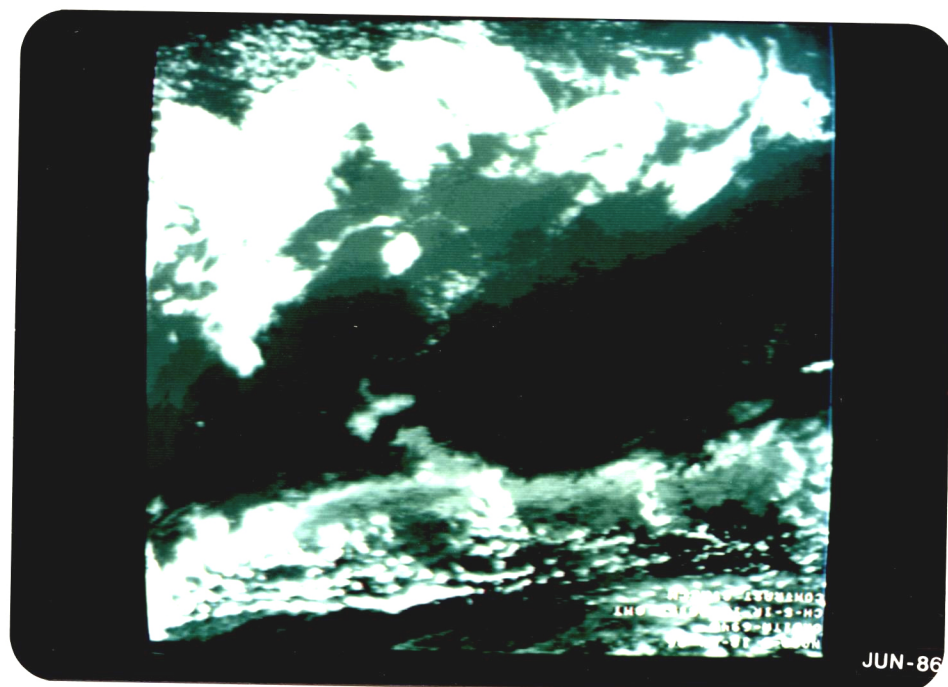


Fig. 1 - Área ampliada (256 x 256 "pixels").

TABELA 6

COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO PARA FUNÇÃO RADIÂNCIA LINEAR

LINHAS	TEMPERATURA DO ALVO INTERNO	G GANHO DO CANAL 4 (IR)	G GANHO DO CANAL 5 (IR)	I ₄ INTERSECÇÃO DO CANAL 4	I ₅ INTERSECÇÃO DO CANAL 5
1922-2041	291,5114	-0,16256	-0,19330	157,25239	189,78152
1942-1991	291,4703	-0,16250	-0,19322	157,18647	189,70981
1892-1941	291,4601	-0,16249	-0,19321	157,16733	189,69097
1842-1891	291,4601	-0,16249	-0,19323	157,17285	189,71137
1792-1841	291,4293	-0,16242	-0,19321	157,10167	189,70242

Tendo em vista que frequentemente os dados digitais são gravados com ruídos, apresentando, às vezes, erros de paridade na fita magnética CCT, ou com dados que produzem resultados fora dos limites esperados, estes foram analisados através de plotagens especiais. Nas Figuras 2 e 3 são apresentados os histogramas das distribuições de frequência dos "counts", respectivamente para os canais 4 e 5, para a área processada. Observa-se nestes histogramas que a distribuição é relativamente semelhante aos respectivos máximos nos "counts" de 340 e 380. Tendo em vista que quanto maiores os valores dos "counts" (representados pelos valores 470 para o canal 4 e 500 para o canal 5 nestas figuras), menores serão as temperaturas de brilho, espera-se que a região em questão se apresente relativamente "quente". Nas Figuras 4 e 5 são plotadas as respectivas relações para os canais 4 e 5, entre os "counts" e as temperaturas de superfície de brilho, obtidas através das funções radiâncias lineares discutidas anteriormente. Com as Figuras 4 e 2 do canal 4 e as correspondentes para o canal 5, deduz-se que os limites de temperatura estão respectivamente entre 298,93 e 277,62 para o canal 4, e 298,7 e 273,93 para o canal 5.

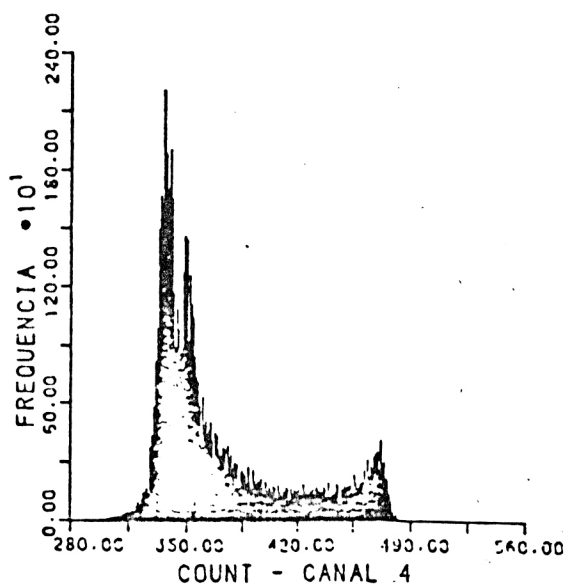


Fig. 2 - Histograma de frequência de ocorrência dos "counts" (contagem) versus "count" do canal 4.

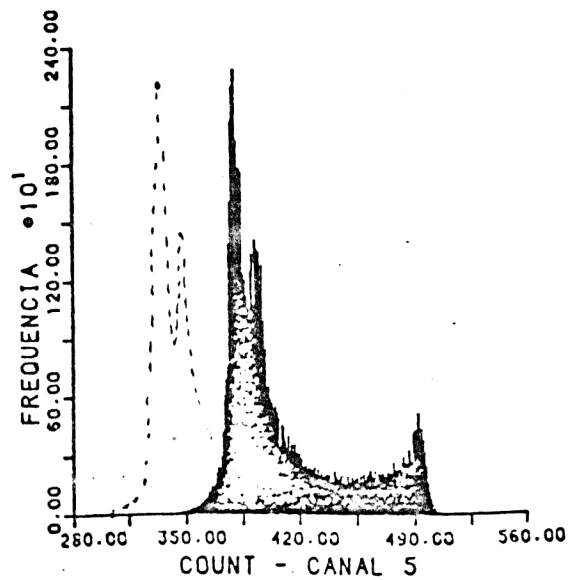


Fig. 3 - Histograma de frequência de ocorrência dos "counts" versus "count" do canal 5.

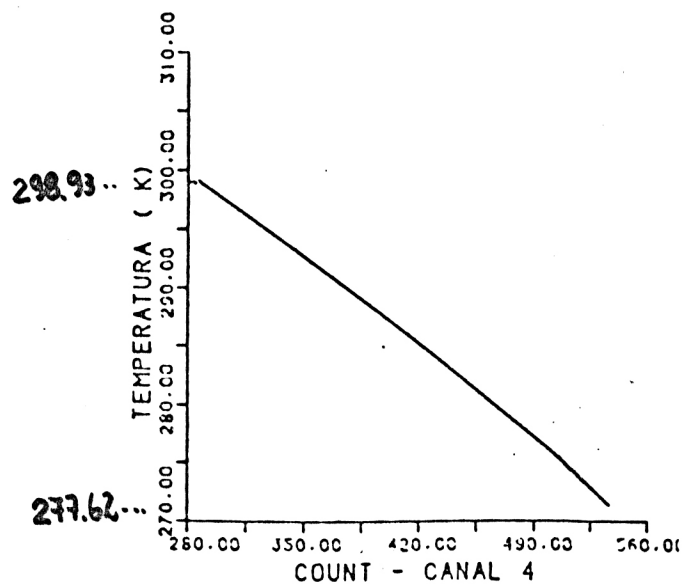


Fig. 4 - Temperatura de superfície de brilho obtida através da função radiância linear para o canal 4.

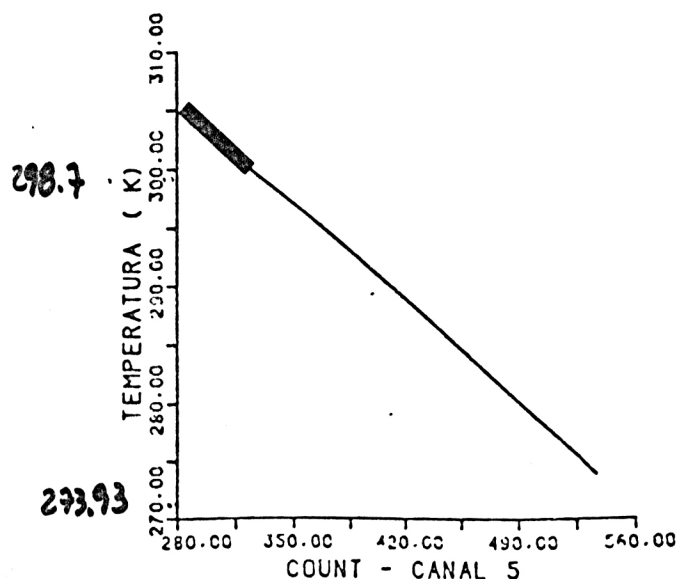


Fig. 5 - Temperatura de superfície de brilho obtida através da função radiância linear para o canal 5.

Na Figura 6 é apresentada a distribuição das temperaturas de brilho, obtidas para os dois canais, para 16384 pontos. Nota-se que os pontos estão distribuídos relativamente ao longo da reta sem grandes desvios, com valores do canal 5 pouco menores que os do canal 4. Em se tratando de um processamento preliminar, não está sendo aqui apresentada estatística alguma sobre as diferenças de temperatura entre os dois canais.

Finalmente, na Figura 7 é apresentado o mapeamento das isoterms (graus centígrados) de brilho para a região em estudo. Nota-se um campo de máxima nas proximidades das coordenadas -23.5 de latitude e -46.5 de longitude, que corresponde à região da grande São Paulo. Outro máximo é observado na região da cidade de Santos. Como pode ser observado, há uma grande área oceânica com baixa temperatura de brilho. Esta região está coberta por nuvens baixas, conforme pode ser visto na Figura 1. Nas proximidades da costa, observa-se que as isoterms apresentam maiores gradientes a leste de Ilha Bela.

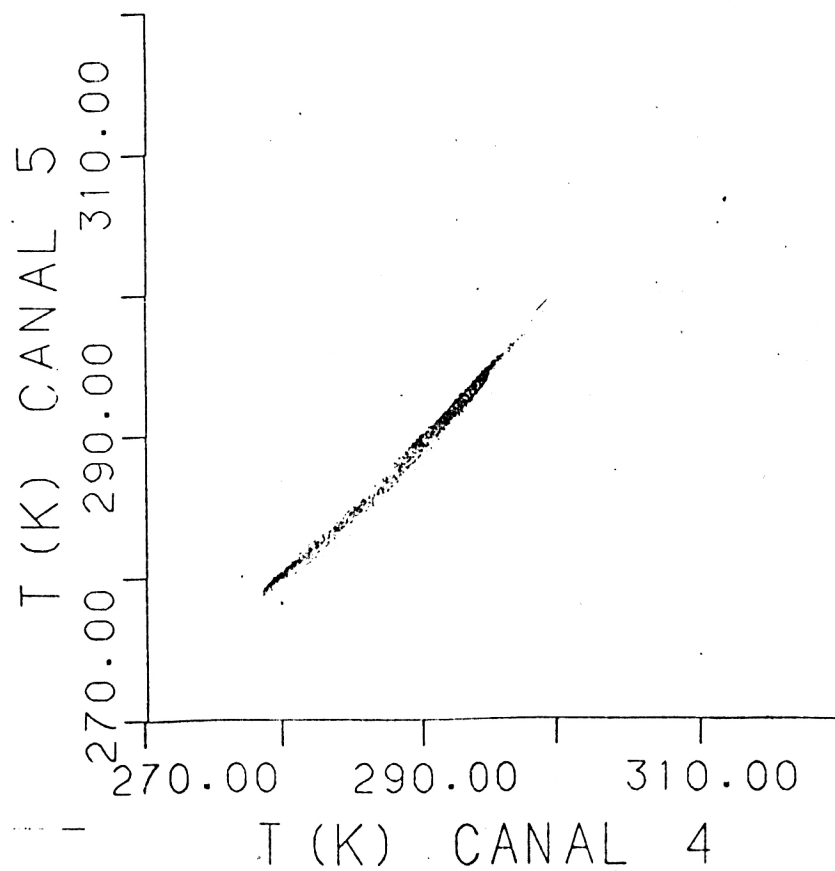


Fig. 6 - Relação entre as temperaturas de brilho para os canais 4 e 5.



Fig. 7 - Mapeamento térmico da temperatura de brilho.

O gradeamento dos dados de temperatura de brilho foi produzido por um sistema de navegação desenvolvido no INPE por Medeiros et alii (1986). Este sistema utiliza as informações das efemérides de satélites, recebidas em forma de mensagens codificadas (TBUS) através do canal de comunicações do satélite geoestacionário GOES-E.

Diversos estudos devem ainda ser feitos para comprovar a validade dos resultados apresentados. Para isto é necessário dispor de dados observados por navios e estações meteorológicas convencionais de superfície. Com os dados da verdade terrestre e os resultados dos parâmetros para os dois canais, deverá ser conduzido um estudo para obter um coeficiente de regressão múltipla linear que leve em consideração os dados dos dois canais na definição da temperatura final, seguindo linhas de pesquisa semelhantes às realizadas por Prabhakara et alii (1974) e Smith et alii (1981). Um outro aspecto a ser considerado no processamento é o do efeito da atenuação atmosférica, conforme indicado por McClain et alii (1983) e Smith et alii (1970). Por exemplo, para o caso do NOAA-9 a NESS utiliza as seguintes equações para inclusão das temperaturas de brilho nos canais 4 e 5 na obtenção da temperatura final:

Observações diurnas - $SST = 3,6569 \cdot T_4 - 2,6705 \cdot T_5 - 268,92$.

Observações noturnas - $SST = 3,6836 T_4 - 2,690 \cdot T_5 - 270,42$.

Enfim, várias outras pesquisas poderão ser conduzidas especificamente com dados do AVHRR em conjunto com outros dados de satélites tais como TOVS e VAS.

No que se refere à aplicação dos resultados do mapeamento térmico, pode-se citar a área de previsão de tempo, cartas de pesca, inferência de temperatura de sub-superfície nos oceanos e muitas outras aplicações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWER, R.L.; GOHRBAND, H.D.; PICHEL, W.G.; SIGNORE, T.L.; WALTON, C.C. Satellite derived sea surface temperatures from NOAA Spacecraft. Washington, DC. U.S. Dept. of Commerce, 74 p. (NOAA Technical Memorandum NESS 78).
- HUH, O.K.; DiROSA, D. Analysis and interpretation of TIROS-N AVHRR Infrared imagery, Western Gulf of Mexico. Remote Sensing of Environment, 11:371-383, 1981.
- INOUE, T. On the temperature and effective emissivity determination of semi-transparent cirrus clouds by bi-spectral measurements in the 10 μ m window region. J. Met. Soc. Japan 63(1):88-99, Feb. 1985.
- KIDWELL, K.B. NOAA polar orbiter data. Washington, DC. User's Guide, Satellite Data Services Division, National Climatic Data Center, 1985. (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-8, and NOAA-9).
- LAURITSON, L.G.; NELSON, G.D.; PORTO, F.W. Data extraction and calibration of TIROS-N/NOAA radiometers. Washington, DC. U.S. Dept. of Commerce, 1979. 58p. (NOAA Technical Memorandum NESS 107).
- MEDEIROS, V.M.; TANAKA, K.; YAMAZADI, Y. Sistema de navegação de dados AVHRR dos satélites da série NOAA. Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 2., Gramado, ago. 1986.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulation model. J. Atmos. Sci., 38:2653-2675, Dec. 1981.
- McCLAIN, E.P.; PICHEL, W.G.; WALTON, C.C.; AHMAD, Z.; SUTTON, J. Multi-channel improvements to satellite-derived global sea surface temperatures. Adv. Space Res., 2(6):43-47, 1983.
- NEWELL, R.E.; SELKIRK, R.; EBISUZAKI, W. The Southern Oscillation: Sea surface temperature and wind relationships in a 100-year data set. J. of Climatology, 2:357-373, 1982.

NING, C.H.S.; TANAKA, K.; CABRAL, M.R.; YAMAZAKI, Y.; NAKAMURA, Y.
Processamento dos dados HRPT dos satélites da série NOAA.
Simpósio Latino-Americano de Sensoriamento Remoto, 2., Gramado,
ago. 1986.

PRABHAKARA, C.; DALU, G.; KUNDE, V.G. Estimation of sea surface
temperature from remote sensing in the 11 to 13 μm window region.
J. Geophys. Res., 79(33):5039-5044, Nov. 1974.

SCHWALB, A. The TIROS-N/NOAA A-G Satellites series. Mar. 1978.
(NOAA Technical Memorandum, Ness 95).

SMITH, W.L.; RAO, P.K.; KOFFLER, R.; CURTIS, W.R. The determination of
sea-surface temperature from satellite high resolution infrared
window radiation measurements. Mon. Weather Rev., 98(8):604-611,
1970.

SMITH, W.L.; WOOLF, H.M. Algorithms used to retrieve surface-skin
temperature and vertical temperature and moisture profiles from
VISSR Atmospheric Sounder (VAS) radiance observations. In:
CONFERENCE ON ATMOSPHERIC RADIATION, 4., Toronto, Canadá, June
16-18, 1981. p. 13-17.

STRONG, A.E.; McCLAIN, E.P. Improved ocean surface-temperatures from
space comparisons with drifting buoys. Bulletin American Met. Soc.,
65(2), Feb. 1984.

TAKAKI, L.T. Mapeamento térmico da superfície do mar utilizando
imagens digitalizadas VHRR dos satélites da série NOAA. Dissertação
de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos
Campos, INPE, 1977. (INPE-1072-TPT/059).

WEARE, B.C. El Niño and tropical pacific ocean surface temperatures.
J. Phys. Oceanogr., 12(1):17-27, 1982.