

1. Classificação <i>INPE-COM.2/NTE</i> <i>CDU: 551.5:778.34:629.783(02)</i>		2. Período <i>Setembro de 1975</i>	4. Critério de Distribuição: interna <input type="checkbox"/> externa <input checked="" type="checkbox"/>
3. Palavras Chave (selecionadas pelo autor) <i>Sensoreamento meteorológico - Imagens por satélites - Previsão de tempo</i>			
5. Relatório nº <i>INPE-748-NTE/027</i>	6. Data <i>Setembro de 1975</i>	7. Revisado por - <i>B.R. Clemesha</i>	
8. Título e Sub-Título <i>Manual de Análise de Imagens Infravermelhas dos Satélites Meteorológicos</i>		9. Autorizado por - <i>Fernando de Mendonça</i> Diretor	
10. Setor <i>CEA</i>	Código <i>4.01</i>	11. Nº de cópias - <i>10</i>	
12. Autoria <i>Domingos Nicolli</i>		14. Nº de páginas - <i>81</i>	
13. Assinatura Responsável <i>Domingos Nicolli</i>		15. Preço	
16. Sumário/Notas <i>Este manual contém os fundamentos de sensoreamento meteorológico por radiômetro de varredura dos satélites; discute as vantagens do processamento dos dados de IV por computador e indica como utilizar as imagens de nuvens na previsão de tempo.</i>			
17. Observações <i>Curso de Treinamento de Operadores de Estações APT de 15 de Setembro de 1975 a 15 de Outubro de 1975</i>			

ÍNDICE

CAPÍTULO I - DADOS DE INFRAVERMELHO

1.1 - O Espectro Eletromagnético	02
1.2 - A Radiação IV da Terra e da Atmosfera	04
1.3 - O Radiômetro de Varredura (RV)	06
1.4 - Conversão da Radiança medida em Temperatura	08
1.5 - Altura das Nuvens	08
1.6 - Comparação entre Fotos de Câmara de TV e de IV	09
1.7 - Diferença entre Fotos IV Diurnas e Noturnas	10
1.8 - Outras Vantagens de se Utilizar somente a Escala de Calibração do Lançamento	12
1.9 - Reescalando os Níveis de Cinza	12
1.10- O Processamento dos Dados IV por Computador	15
1.11- Efeitos da Absorção Atmosférica (Horizonte Escuro)	17
1.12- Resolução Espacial do RV	19
1.13- Efeito da Resolução Espacial sobre a Temperatura indicada no Topo da Nuvem	19
1.14- Resolução da Temperatura pelo RV	22
1.15- Realce Latitudinal	23

CAPÍTULO II - INTERPRETAÇÃO DAS FORMAS DAS NUVENS E DAS CARACTERÍSTICAS DO TERRENO

2.1 - Cirrus e Nuvens Médias	25
2.2 - Cumulus	29
2.3 - Nevoeiro e Stratus	29
2.4 - Superfície Continental	30

CAPÍTULO III - ANÁLISE

3.1 - Introdução	32
3.2 - Dados Brutos dos Satélites NOAA-3 e NOAA-4	33
Imagens de III.2.1 a III.2.6	33
Imagens III.2.7 e III.2.8	43
Imagens III.2.9, III.2.10 e III.2.11	47
Imagens III.2.12, III.2.13, e III.2.14	52
3.3 - Resolução do Sensor	57
3.4 - Dados Processados	61
Imagem III.4.1 - Dados do NOAA em Mapas	61
Imagem III.4.2 - Realce Latitudinal	64
Imagem III.4.3 - Estudo da Estrutura Vertical das Nuvens .	67
Imagem III.4.4 e III.4.5 - Nuvens baixas e Temperatura do Solo - Realce não linear	69
REFERÊNCIAS	74

SUMÁRIO

Neste manual são apresentados os fundamentos físicos do sensoreamento meteorológico pelos radiômetros de varredura de infravermelho dos satélites. Indicam-se as principais vantagens de se dispor simultaneamente de imagens de nebulosidade no espectro visível e infravermelho ou termal. Os problemas, decorrentes da absorção atmosférica, são analisados sob o ponto de vista da precisão com que se pode estimar a altura das nuvens. É feito, também, uma revisão dos vários tipos de processamento por computador que se pode aplicar aos dados de IV com fins diversos. Na parte final, como exemplo, são analisadas algumas imagens ilustrativas da teoria apresentada.

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	- Anticiclone
Cb	- Cumulonimbus
Ci	- Cirrus
CiSt	- Cirrustratus
ESSA	- Environmental Sciences Services Administration (USA)
GMT	- Greenwich Mean Time
IV	- Infravermelho
MB	- Milibar
mn	- Milhas náuticas
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration (USA)
NESS	- National Environmental Satellite Service (USA)
NESC	- National Environmental Satellite Center (USA)
PS	- Ponto subsatélite
RIV	- Radiação infravermelha
RV	- Radiômetro de varredura
RVIV	- Radiômetro de varredura de infravermelho
Sc	- Stratocumulus
SI	- Sensor de infravermelho
St	- Stratus
TIROS	- Television and Infra-red Observations Satellite (USA)
TOSS	- TIROS Operational Satellite System
TV	- Televisão
USSA	- United States Standard Atmosphere

CAPÍTULO I

DADOS DE INFRAVERMELHO

1.1 O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

Na Figura I.1 mostra-se um intervalo do espectro eletromagnético que mais interessa à meteorologia. Como se vê este trecho do espectro compreende as radiações ultravioletas, visíveis e infravermelhas. Cada tipo de radiação ao atravessar a atmosfera sofre um tipo diferente de absorção, pelo ar, que depende do teor de umidade e da concentração de cada componente atmosférico, principalmente CO_2 e O_3 .

Na Figura I.2 considera-se apenas a radiação solar e sua distribuição espectral extraterrestre (Gates, 1965), ao nível do mar, em dia claro e em dia totalmente nublado. É certo que a distribuição da energia varia muito de um dia claro para um dia nublado.

Visto que a terra mantém sua temperatura média aproximadamente constante há muitos milhares de anos, é evidente que no sistema terra-atmosfera a energia solar recebida deve ser balanceada pela energia emitida pelo sistema, do contrário deveria haver um aumento de temperatura no planeta. Uma porção é refletida na região do espectro visível (albedo). A energia refletida é captada pelas câmaras de televisão dos satélites para reprodução de fotos da terra. Uma outra parte é emitida pela superfície do planeta e pelas nuvens na região infravermelha do espectro: radiação de onda longa. Es

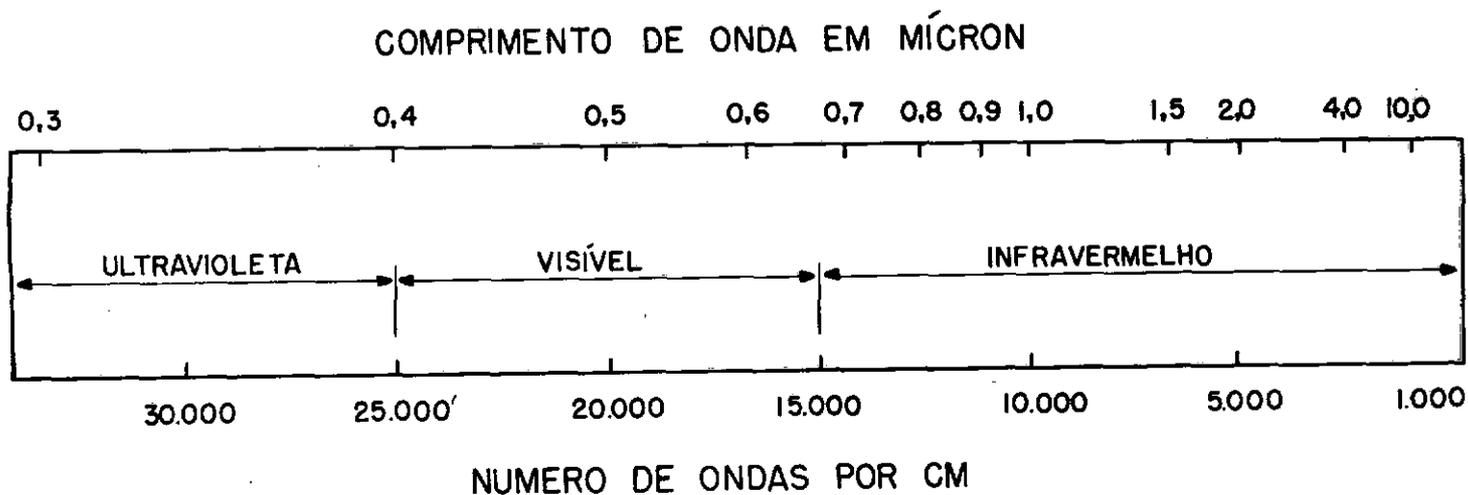


Fig. I.1 - Trecho do espectro eletromagnético de maior interesse à Meteorologia. Abrange as radiações ultravioletas, visíveis e infravermelhas

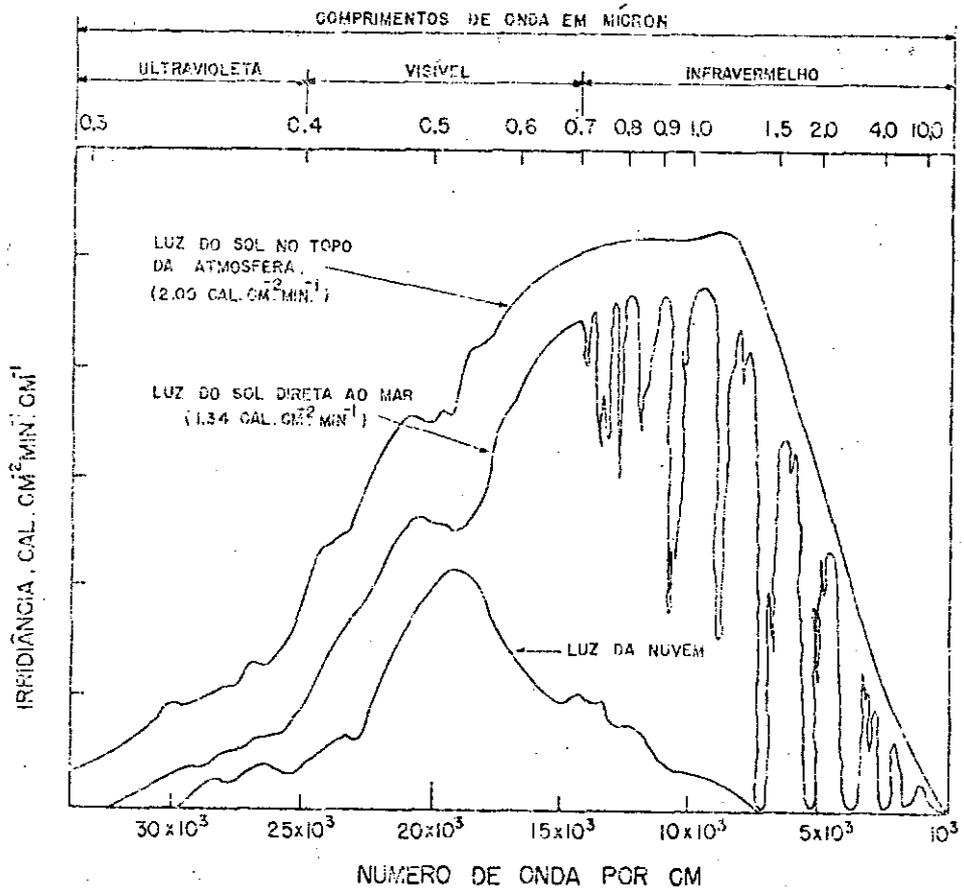


Fig. I.2 - Distribuição espectral da radiação solar extraterrestre e ao nível do mar, num dia claro e em outro nublado

ta radiação é medida por sensores de infravermelho (SI) colocados nos satélites. Uma vez que existe proporcionalidade entre a radiação infravermelha e a temperatura do corpo que emite, a energia medida pelo radiômetro de varredura (RV) do satélite pode ser convertida em temperatura, de modo que, depois de estabelecida uma certa escala, a superfície quente da terra seja representada numa chapa fotográfica por tonalidades de cinza e o topo muito frio das nuvens por branco. Os níveis de cinza do branco ao preto serão distribuidos pelas temperaturas intermédias. Assim sendo, pode-se dizer que se dispõe de uma fotografia das temperaturas da superfície da terra. Nisto está a diferença entre uma foto em IV e outra de câmara de TV. Enquanto na última o preto representa baixo albedo (pouca luz solar é refletida) na foto feita com dados do radiômetro mostra temperatura mais alta.

1.2 A RADIA O IV DA TERRA E DA ATMOSFERA

A região do espectro eletromagnético que compreende a radia o IV é muito extensa, abrange as ondas de 0,7 a 100 micra. Está,   esquerda, limitada pela radia o visível e pelas microondas   direita, Figura 1.2. A terra e a atmosfera radiam com máxima intensidade no comprimento de onda de 10μ , visto que a temperatura média do sistema terra-atmosfera é de 250°K , lei de Wien. A esta temperatura e a este comprimento de onda a superfície do solo e as nuvens espessas possuem emissividade perto de um e por isso são assumidos serem radiadores perfeitos (corpo negro). Assim, as radian as IV detectadas pelo sensor estão diretamente relacionadas com as temperaturas da superfície do terreno, da água e das nuvens.

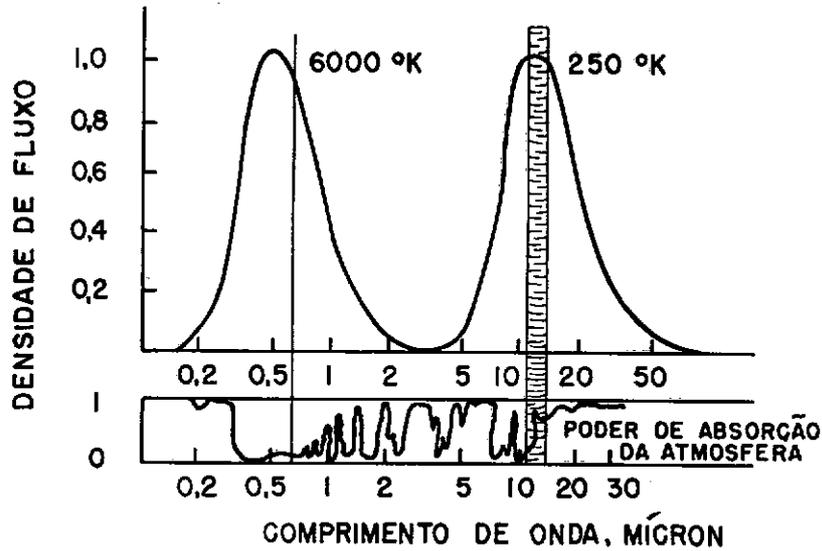


Fig. I.3 - A temperatura média do sistema terra-atmosfera é de 250^oK e por isso radia com máxima intensidade em torno de 10 μ . Na parte superior deste diagrama estão as curvas normalizadas de radiação de um corpo negro a 6000^oK, que corresponde a radiação emitida pelo sol, e a curva de um corpo negro a 250^oK, que corresponde grosseiramente à radiação emitida pela terra e atmosfera. Como se observa a radiação da terra e do sol cobrem dois intervalos separados do espectro com muito pouca superposição. A parte inferior do diagrama mostra o espectro de absorção da atmosfera. O ar é muito mais transparente à radiação solar que chega ao topo da atmosfera do que aquela IV emitida pela terra. É este fenômeno que produz o chamado "efeito estufa". A faixa hachuriada representa a região do IV (10,5 μ - 12,5 μ) sensoreada pelo radiômetro de varredura do NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). A linha em 0,63 μ está centrada na região onde o RV do visível faz medições.

A RIV emitida pela superfície da terra ao atravessar a camada atmosférica em direção ao espaço onde está o satélite, sofre um processo de transferência radiativa muito complexo, o qual envolve absorção e reemissão por diversos gases atmosféricos. Os principais absorventes de RIV na atmosfera são o vapor de água, dióxido de carbono e o ozônio. A capacidade de absorção destes gases varia muito com o comprimento de onda da radiação considerada.

Desta maneira se se construir um radiômetro para determinada faixa de onda de pouca transmitância, quase nada poderá ser registrado do que é emitido pela superfície. É, portanto, necessário escolher uma região da faixa infravermelha na qual a RIV seja pouco absorvida pela atmosfera. Os radiômetros em uso atualmente foram desenhados para detectar radiação de $10,5\mu$ a $12,5\mu$, visto ser esta uma faixa do espectro de absorção mínima, Figura VI.3. No intervalo de 8μ a 12μ a radiação IV escapa diretamente para o espaço e por isso é chamado de "janela atmosférica".

1.3 O RADIÔMETRO DE VARREDURA (RV)

Ao contrário das câmeras de TV dos primeiros satélites, o RV não toma fotos, mas, fornece uma sequência de dados com os quais se pode construir imagem. Enquanto o satélite move-se em torno da terra, há um espelho rotativo que fornece uma varredura óptica perpendicular à direção do movimento da nave, Figura VI.4. O conteúdo dos dados para cada varredura depende da órbita e das características do satélite. Para os satélites da série NOAA, cada varredura "vê" 3622 milhas náuticas transversalmente, ao desloca

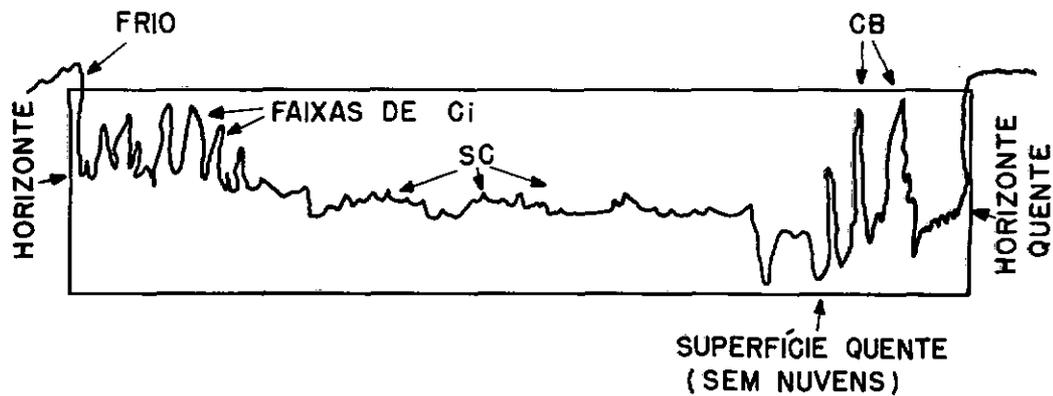


Fig. I.4 - Mostra a plotagem, em papel, de uma única linha, resultante de uma sã varredura, de uma imagem IV transmitida para a terra. Os pontos mais frios, parte superior, representam baixas temperaturas, enquanto que os mais baixos, temperaturas altas. Os valores intermédios, em geral, se referem às nuvens baixas

mento. No intervalo de tempo de 1,25 segundos entre uma varredura e outra o satélite avança 5 milhas náuticas (mn) ao longo da linha de pontos, sub-satélite. Os dados de cada varredura sucessiva podem ser gravados no satélite para transmissão posterior ou podem ser enviados instantaneamente para estações rastreadoras no solo, onde as sequências são colocadas, lado a lado, para formar a imagem. A foto do RV é feita dentro de um intervalo de tempo, linha por linha.

1.4 CONVERSÃO DA RADIANÇA MEDIDA EM TEMPERATURA

A superfície das nuvens e da terra é considerada radiador da forma do corpo negro. Esta aproximação é relativamente boa para a radiação de 11μ . Antes do lançamento o RVIV é calibrado por meio de um alvo, tipo corpo negro, colocado no campo de visão do sensor, cuja temperatura é feita variar. A resposta do instrumento é registrada desde a temperatura de 190°K até 340°K . Esta curva de calibração é usada para converter a radiação medida em temperatura. As radianças medidas pelo satélite, quando em órbita, são convertidas em temperaturas equivalentes à do corpo negro; a precisão com que a temperatura é determinada depende do fato de se admitir que as superfícies da terra e das nuvens observadas estão emitindo similarmente ao corpo negro.

1.5 ALTURA DAS NUVENS

Na Figura VI.4 vimos que os pontos de temperatura muito alta radiam mais intensamente do que os de temperatura mais baixa. De modo que

dispondo da curva de calibração (de 190⁰K a 340⁰K) é possível, em geral, de terminar-se a temperatura em cada ponto da sequência da transmissão do satélite, Figura 1.4, e, conseqüentemente da foto. Uma vez que a distribuição vertical de temperatura média é facilmente conhecida em cada latitude, pode-se estimar com bastante precisão a temperatura do topo das nuvens e sua altura.

1.6 COMPARAÇÃO ENTRE FOTOS DE CÂMARA DE TV E DE IV

Simultaneamente, uma área é sensoreada por sensor de IV e de visível. Este é o caso dos satélites da série NOAA atual, dos quais se obtém duas fotos simultâneas. Quais são as principais diferenças entre as duas fotos?

(1) - Não há foto do visível para o período noturno.

(2) - Durante o dia:

- uma superfície sem nebulosidade e quente aparecerá escura, na foto do visível, por causa do menor albedo. Na IV também aparecerá escuro por causa da forte emissão.
- uma superfície líquida sempre aparecerá escura na foto visível. No IV vai apresentar-se em diversas tonalidades de cinza que indicam as massas de água com diferentes temperaturas.
- uma massa de nuvem espessa, de tipo convectivo, aparece branca tanto no visível quanto no IV, sendo que na primeira é por causa da grande refletividade e na segunda por causa do topo frio. Há contudo, uma diferença importante quanto às nuvens médias e

baixas que poderão ser destacadas pelo seu nível de cinza.

- Nevoeiros e stratocumulus se confundem com nuvens médias e altas na foto do visível, enquanto que em IV aparecem com distinção em seus níveis de cinza. Muitas outras diferenças importantes poderiam ser apontadas.

1.7 DIFERENÇA ENTRE FOTOS IV DIURNAS E NOTURNAS

Foi dito anteriormente que o sensor IV do satélite é calibrado, antes do lançamento, entre 190°K e 340°K . Se se quiser distinguir temperaturas, de 10°K em 10°K , deverá haver pelo menos 15 níveis de cinza na foto. É muito difícil para a visão humana distinguir tantos cinzas. Contudo, com o processamento dos dados transmitidos o problema se torna de fácil solução.

Admite-se, como exemplo, que certa área foi sensoreada de dia e de noite. E dos dados resultantes foram preparadas duas fotos de IV com a curva de calibração do satélite (190°K a 340°K). Devido a grande variação diurna da temperatura do solo haverá na foto de IV, de dia, grande contraste entre as massas de água fria (mais claro) e o solo quente (mais escuro). Durante a noite, pelo efeito da radiação, o solo esfria e poderá ficar a mesma temperatura da água ou mais frio. Em consequência o cinza do solo e da superfície líquida se aproximam e o contraste entre continente e mar se torna difícil à noite, assim como a identificação de nuvens baixas e nevoeiro. Nas noites de céu muito claro (forte radiação para o espaço) os rios e lagos com água mais quente se destacam enormemente e também o contraste continente e mar, se este último estiver mais quente do que o primeiro.

1.8 OUTRAS DESVANTAGENS DE SE UTILIZAR SOMENTE A ESCALA DE CALIBRAÇÃO DO LANÇAMENTO

Nas regiões fora dos trópicos há o problema das grandes diferenças de temperatura entre as estações do ano e as latitudes. Por exemplo, nas regiões árticas e antárticas a escala de calibração de 190⁰K a 340⁰K permite pouca distinção de cinzas. Quando a temperatura da superfície terrestre, no inverno das latitudes médias e altas, se aproximam de 0⁰C e desce abaixo, a foto de IV vai ficando sempre mais clara, em toda a área fotografada e as distinções desaparecem. Nos trópicos, a escala de calibração do lançamento é mais adequada porque inclui todo o intervalo de temperatura real. Traz, no entanto, a desvantagem de só permitir distinguir diferenças grandes de temperatura. Conseqüentemente, também, as alturas das nuvens serão estimadas de modo grosseiro.

1.9 REESCALANDO OS NÍVEIS DE CINZA

Considera-se a Figura VI.5. Supõem-se que os dados transmitidos pelo satélite vão ser convertidos em 10 níveis de cinza de acordo com a curva de calibração do lançamento, de 190⁰K a 340⁰K. Como se pode observar, uma fotografia realizada de acordo com esta escala só permitirá distinguir temperaturas extremas e portanto, nuvens médias e baixas terão pouco realce. Antes, porém, dos dados transmitidos serem convertidos em foto, podem passar por um computador para processamento. Uma das coisas a serem feitas pode ser o reescalonamento da curva de calibração original, Figura VI.5. Visto serem

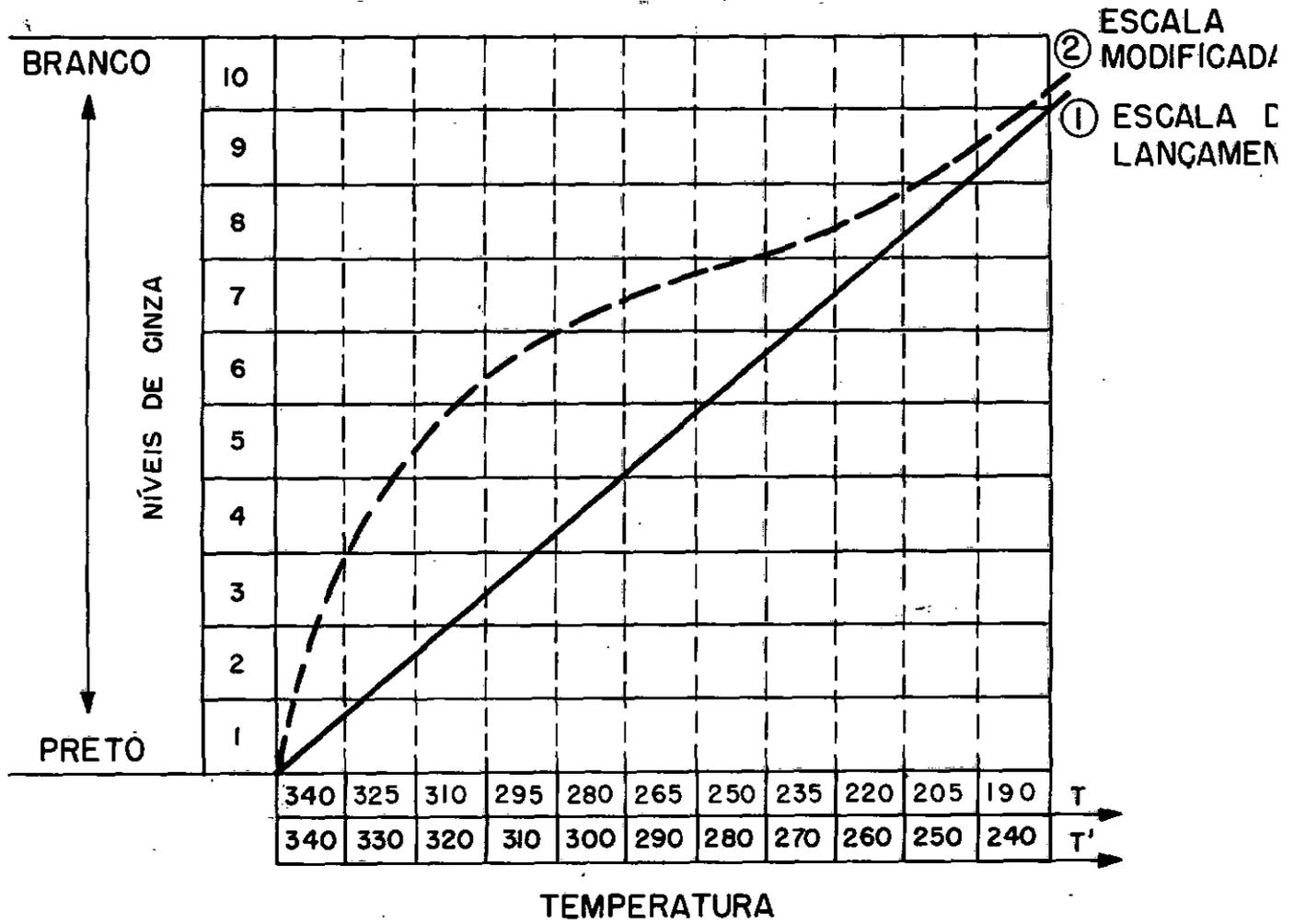


Fig. I.6 - Exemplo de como se pode modificar a curva de calibração para melhorar o realce de certas temperaturas de nuvens em diferentes níveis

limitados os níveis de cinza, distinguíveis pela visão humana, a no máximo uns 10 ou 15, faz-se os valores extremos da temperatura (branco e preto) na escala de cinzas se aproximarem um do outro. Com isto haverá perda de uma porção dos dados de IV. Portanto, o realce dado a uma parte dos dados será às custas de outra. Em muitos casos este é um prejuízo vantajoso. Veja-se a Figura I.5, como exemplo. Em caso de não haver temperaturas superiores a 290°K (escala T') qual seria a utilidade da escala T? Pela escala T haveria uma foto com níveis de cinza claro a branco, ou seja, apenas com quatro níveis distinguíveis que fariam uma foto pobre em detalhes. A escala T', pelo contrário, emprega a capacidade da visão ao máximo, isto é, usa todos os 10 níveis e dá maior realce às diferentes temperaturas das nuvens.

Na Figura I.5 a nova escala sacrificou as temperaturas maiores que 290°K , as quais tomarão na foto sombreado preto. Na Figura I.6, a curva (1) é de calibração inicial no lançamento do satélite. A curva (2) é adotada, no momento do processamento, para realce maior das temperaturas acima de 240°K . As temperaturas inferiores a 240°K serão representadas pelo branco. Pela Figura I.5 a foto resultante permitirá melhor interpretação das nuvens médias e altas (menores temperaturas), pela Figura I.6, a curva (2) permitirá mais facilmente se reconhecer as nuvens baixas e médias. É possível, todavia, sacrificarem-se as temperaturas extremas e dar maior realce às temperaturas de determinado intervalo de variação. O reescalamento dos cinzas vai depender (a) do objetivo da foto IV: estudo de temperaturas do solo, de massas de água, de nuvens baixas, médias ou altas; (b) das latitudes e estações do ano.

Até aqui falou-se da modificação da curva de calibração dos níveis de cinza com restrições apenas no intervalo de temperatura. Há, ainda, outros tipos de modificações que podem ser feitas nos dados de IV. Uma delas é reduzir o número de níveis de cinza. É possível a reprodução de uma foto só com branco, preto e cinza sem níveis intermédios da Figura 1.5. Esta alteração é útil porque permite mais rápido e maior contraste entre as regiões de temperaturas muito diferentes. Por exemplo, uma convenção adotada poderia ser branco para temperaturas inferiores a 5°C , cinza entre 5°C e 20°C e preto para temperaturas maiores que 20°C .

Uma terceira possibilidade de variar o realce é colocando os níveis cinzas alternadamente, em vez de seguir a escala contínua de branco a preto. Deste modo serão enfatizados certos aspectos particulares das nuvens.

1.10 O PROCESSAMENTO DOS DADOS IV POR COMPUTADOR

A energia detectada pelo radiômetro de varredura (RV) é transmitida à terra em forma de sinal analógico. Este sinal pode ser convertido diretamente em tonalidades de cinzas (portanto, de acordo com a curva de calibração do lançamento do satélite) ou digitalizado e processado pelo computador para quantificar os dados antes de serem transformados em imagem. Digitalizar equivale a dar um número para cada ponto do gráfico da Figura 1.4 e conseqüentemente para cada intensidade da energia, por exemplo, poderia ser feita uma escala de 1500 a 0001, na qual o valor mais alto corresponde a temperatura máxima (mais energia) detectada e o mais baixo a menor temperatura (menos energia), isto é, 190°K . Há várias vantagens em se guardar os dados digitalizados:

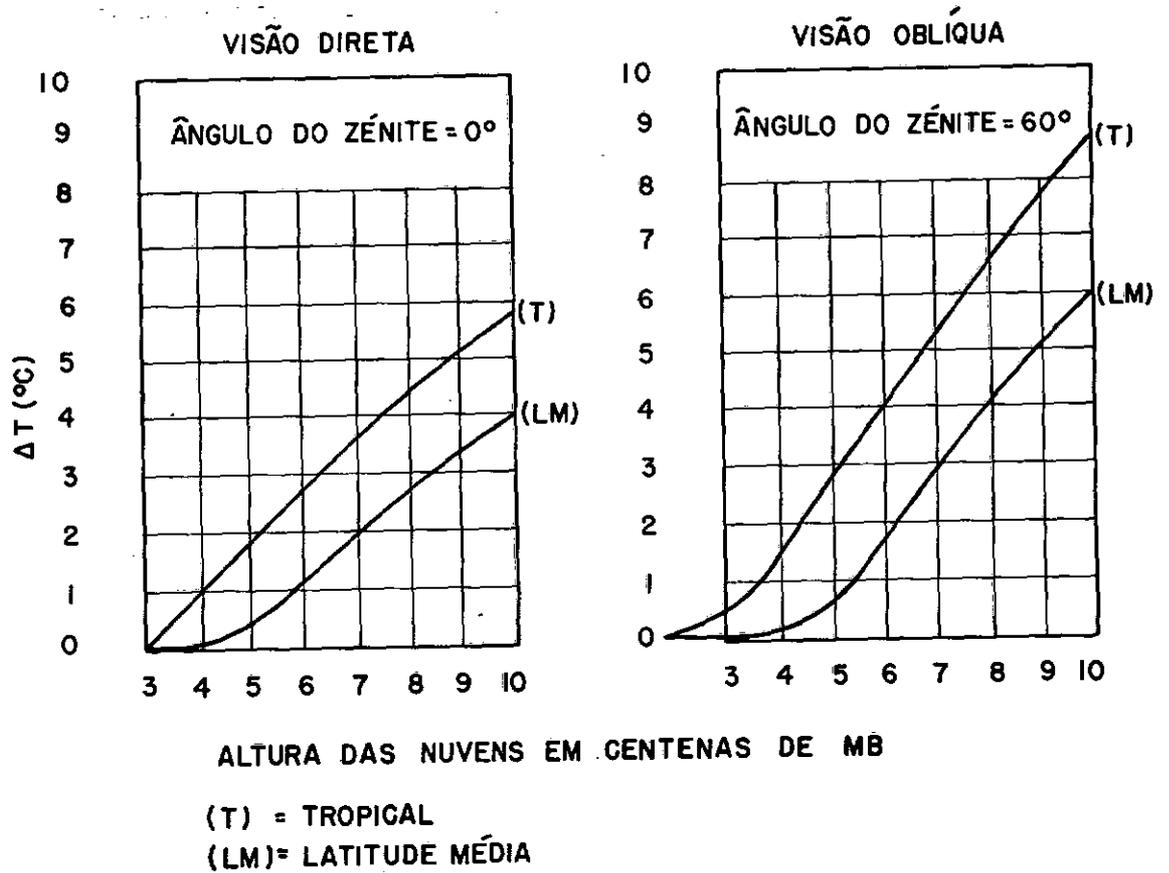


Fig. I.7 - Esta figura mostra o erro introduzido na temperatura do topo da nuvem a medida que se faz crescer o percurso da radiação. Pode-se verificar que na visão oblíqua o erro cometido será maior e nos trópicos ainda mais que nas latitudes médias. Quando o sensor do satélite está apontando diretamente para baixo não há erro para as nuvens acima de 300 MB. Para as nuvens a 500 MB nos trópicos o erro é inferior a 2°C enquanto que com visão oblíqua é de quase 3°C . Estas curvas foram calculadas para massas de ar típicas de cada latitude e com base num modelo feito para dados obtidos pelo ITOS-1 e são aplicáveis às séries de satélite NOAA-ITOS

- (1) - Os dados podem ser corrigidos para compensar as variações de temperatura no interior do satélite e o efeito do horizonte escuro;
- (2) - os valores quantitativos da temperatura podem ser dados com base na calibração do instrumento de antes do lançamento;
- (3) - os dados podem ser retificados para mapas de diferentes escalas e transformados em imagens gradeadas. Na retificação eliminam-se as distorções devidas à curvatura da terra;
- (4) - o número de níveis de cinza de um intervalo de temperatura escolhido pode ser aumentado para facilitar a interpretação, inclusive com a colocação de cores falsas.

O processamento em computador tem a desvantagem de atrasar a entrega dos dados para uso imediato. Os campos de temperatura podem tomar cores falsas quando analisados num computador do tipo Image-100 da GE; no INPE há um computador deste tipo.

1.11 EFEITOS DA ABSORÇÃO ATMOSFÉRICA (HORIZONTE ESCURO)

Somente uma pequena parte da radiação de comprimento de onda de 11,5 a 12,0 μ é absorvida na atmosfera principalmente pelo CO₂ e pelo vapor de água. Ao longo do percurso da radiação estas substâncias re-radiam energia a uma temperatura mais baixa. Isto faz aparecer ao satélite uma superfície da atmosfera de aspecto mais frio do que realmente deve estar.

Este fenômeno é mais pronunciado perto do horizonte onde o

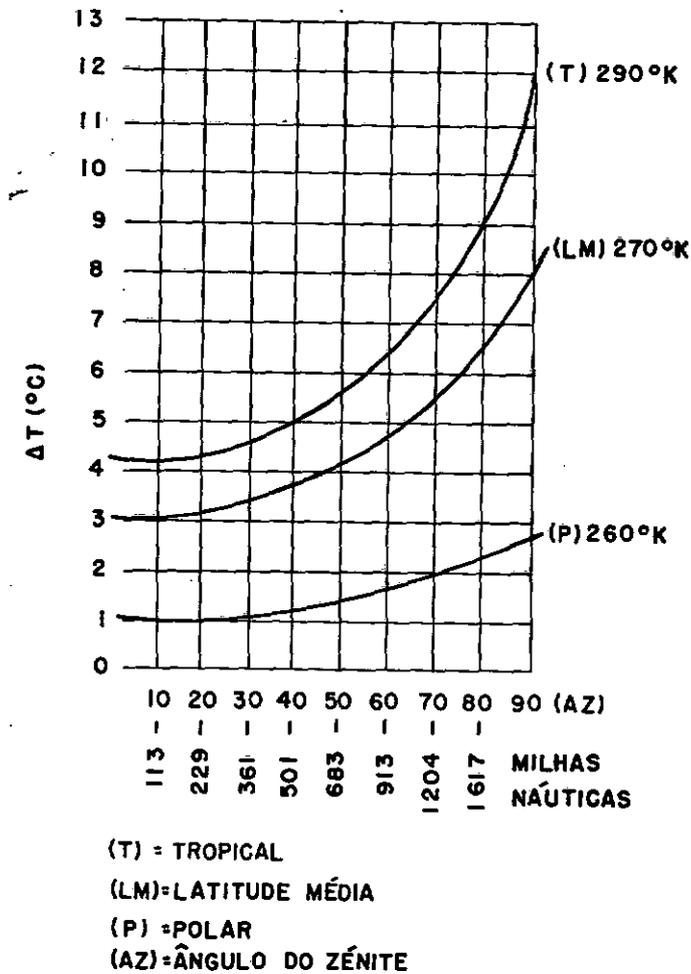


Fig. I.8 - Aqui é indicado a magnitude do erro introduzido na temperatura da superfície da terra com o aumento do percurso da radiação em função do ângulo zenital. A distância em milhas náuticas vai do ponto subsatélite para o horizonte, ao longo de uma varredura. Por exemplo, quando o satélite "vê" a superfície da terra, nos trópicos, de uma distância de 913 milhas náuticas de cada lado do ponto subsatélite, a temperatura estará em erro de aproximadamente 6,5°C. Nos polos este erro seria de 1,5°C.

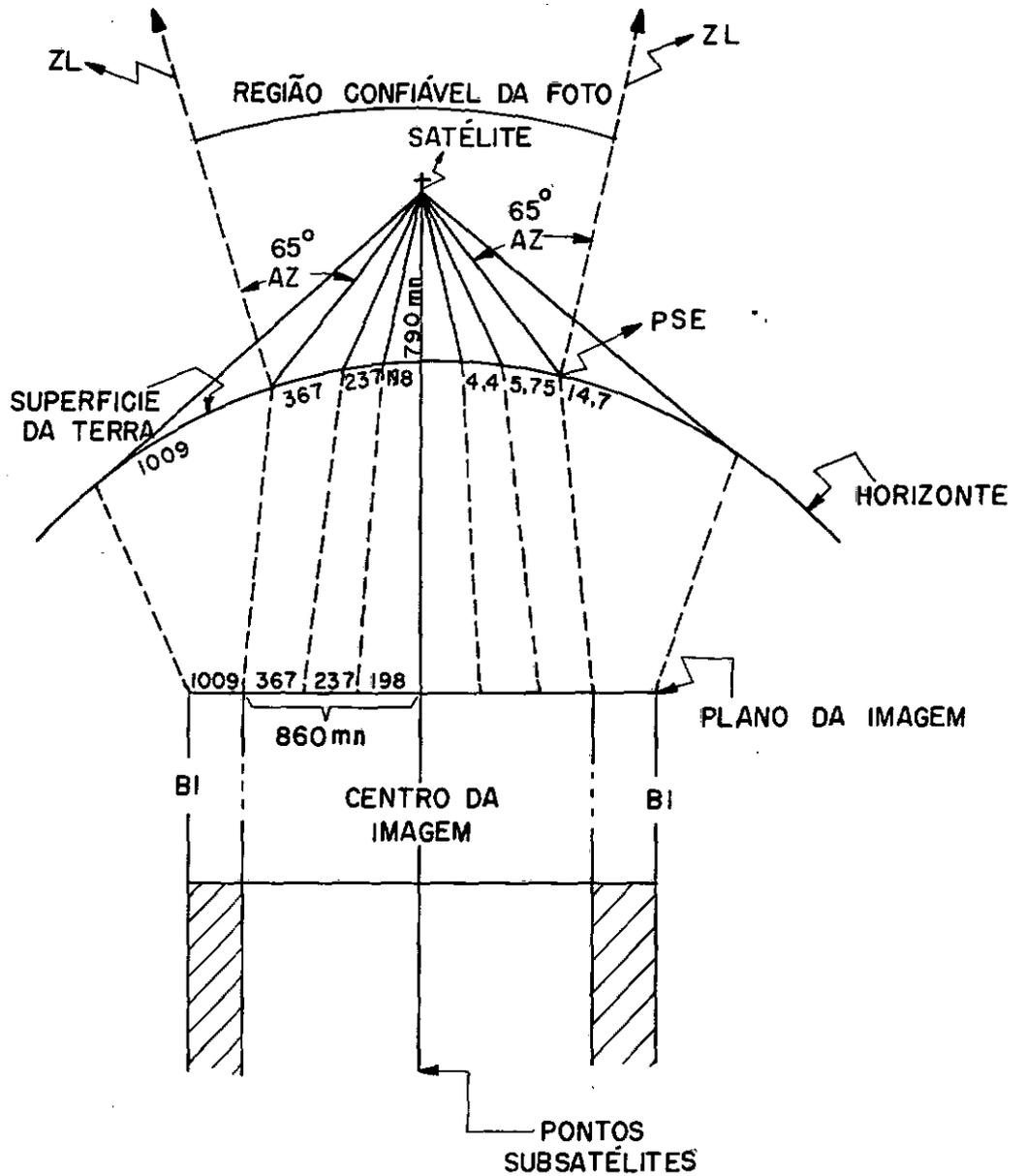
percurso (massa optica) da radiação fica mais longo e nos trópicos onde há grande concentração de vapor de água. Os dados de IV processados em forma digital devem receber correção para o escurecimento do horizonte, ver Figuras I.7, I.8 e I.10.

1.12 RESOLUÇÃO ESPACIAL DO RV

A resolução máxima do sensor do RV é de 4 milhas náuticas (-7,2 Km) ao longo da trilha de pontos sub-satélites. A medida que o sensor faz a varredura para o horizonte, o ângulo de visão se torna mais oblíquo e a área vista fica maior, embora no plano da imagem seja representada do mesmo tamanho que nos pontos sub-satélites. De maneira que, uma nuvem vista no PS com 11 Km de diâmetro, se observada obliquamente com ângulo zenital de 60° , seria representada no plano da imagem numa área equivalente a 8 Km. Depois de 60° de obliquidade a resolução cai tanto que com 65° uma distância de 4 Km, na borda da foto, teria de fato 14,7 Km, se fosse no centro. É por isso que as bordas das imagens não são consideradas para ângulo zenital de mais de 65° . Na latitude equatorial estas bordas de 65° ficam lado a lado em duas imagens de passagens consecutivas e para o lado polar se superpõem, Figura I.9.

1.13 EFEITO DA RESOLUÇÃO ESPACIAL SOBRE A TEMPERATURA INDICADA NO TOPO DA NUVEM

Os radiômetros medem a radiação de onda longa total que entra no sensor. Esta radiação comumente vem de muitas fontes que radiam a temperaturas diferentes. Se estas fontes estão abaixo da resolução do sensor, o



ZL = ZÊNITE LOCAL
AZ = ÂNGULO DO ZÊNITE
PSE = PONTO DE SUPERPOSIÇÃO DA ÓRBITA NO EQUADOR
BI = BORDA DA IMAGEM

Fig. I.9 - Mostra como a superfície plana do sensor "vê" a superfície curva da terra. Neste diagrama o plano da imagem é dividido em oito segmentos iguais; cada um corresponde a um arco da superfície da terra medido em milhas náuticas (mn). Os números escritos em cada segmento mostram como a foto contrai o arco, ou seja, a superfície da terra perto do horizonte. Indica-se ainda como a resolução decresce a medida que os objetos ficam mais distantes do ponto subsatélite. No PS é de 4mn e com ângulo de zénite de 65° passa a 14,7 mn.

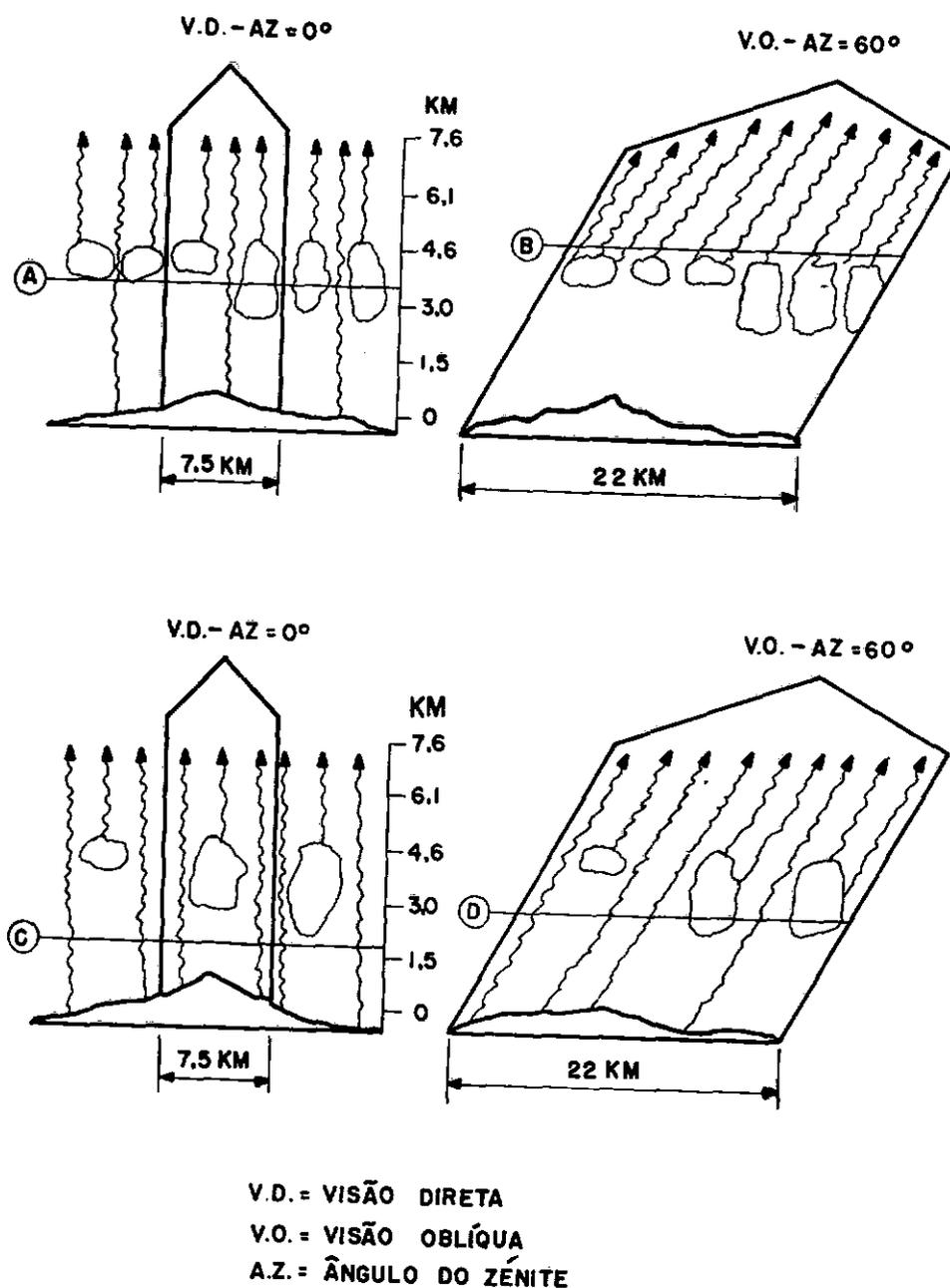


Fig. I.10 - Este diagrama mostra como o tamanho dos elementos de nuvem e o ângulo de visão fazem as nuvens aparecerem mais quentes e mais baixas do que realmente são. As linhas horizontais identificadas por letras A, B, C e D representam as alturas dos topos das nuvens deduzidas pelos dados IV. Os campos de nuvens da direita e da esquerda são idênticos, porém, com ângulos de visão para o satélite diferentes. Um campo de nuvens quando visto diretamente (ângulo de nadir = 0°) sempre aparece mais quente e mais baixo do que é se as nuvens forem quebradas e permitem passagem direta da radiação vinda do solo. Com visão oblíqua haverá maior ou menor precisão na determinação da altura dependendo do espaçamento das nuvens. Os valores numéricos aqui fornecidos são para efeito de ilustração somente.

instrumento integra as radiações numa só resposta. Por esta razão as medições de temperatura em IV do topo das nuvens são mais precisas quando estas enchem todo o campo de visão do sensor. As nuvens contínuas e opacas à radiação terrestres permitem uma determinação de sua temperatura pelo satélite, bastante aproximada à real. Aquelas que têm aberturas ou buracos abaixo da resolução do sensor, mostram-se mais quentes do que realmente o são na realidade. A precisão relativa das medições de temperatura do topo das nuvens depende:

- (1) - do tamanho dos elementos da nuvem,
- (2) - da quantidade total de nuvem e até onde esta é opaca,
- (3) - do ângulo de visão do sensor,
- (4) - conteúdo de água líquida.

1.14 RESOLUÇÃO DA TEMPERATURA PELO RV

A capacidade dos RV dos satélites NOAA/ITOS de medir radiações com precisão varia de acordo com a temperatura do alvo. As imprecisões resultam de ruído introduzido pelo próprio sistema sensor e de variações na estabilidade do instrumento. Em termos de temperatura, o erro varia de $\pm 2^{\circ}\text{C}$ no extremo quente da escala (300°K) para $\pm 8^{\circ}\text{C}$ no extremo frio (185°K). Aplicando-se estes valores à atmosfera padrão USSA tem-se uma indicação dos erros introduzidos na determinação da temperatura do topo das nuvens a cada altura.

ERROS INTRODUZIDOS PELO SENSOR

ALTURA	ERRO
900 m	±±300 m
3900 m	±±600 m
6900 m	±±900 m
9900 m	±±1200 m

Estes valores são aproximados. A potência de resolução do instrumento é muito alta, sendo de 1°C para temperaturas baixas e de 0,5°C para temperaturas elevadas.

1.15 REALCE LATITUDINAL

A temperatura do planeta diminui do equador para os polos, por isso os contrastes de cinza vão desaparecendo para as latitudes mais altas, com predominância do cinza claro. A falta de realce dos níveis de cinza é ainda mais grave no hemisfério que está no inverno. Por causa disto há necessidade de se reescalar a correspondência dos cinzas com as temperaturas para cada latitude. A falta de realce prejudica primeiramente a distribuição das nuvens baixas e a seguir das médias. Nos trópicos e subtropicais a diferença de temperatura entre a superfície do solo e do topo das nuvens mais altas é de mais de 100°C enquanto que nas regiões continentais polares é de menos de 20°C.

As dificuldades anteriores podem ser superadas de duas maneiras:

- (a) - variando a intensidade do sinal recebido no próprio receptor e
- (b) - ao digitalizar os dados fazendo compensação pelo computador.

As imagens de IV transmitidas por fac-símile nos EEUU são realçadas para compensar a variação latitudinal. O objetivo é maximizar o número de cinzas para facilitar a interpretação da foto a cada latitude.

Isto é feito com uma reavaliação dos valores atribuídos aos cinzas, de modo que, a imagem sempre empregará os valores intermédios do preto ao branco em todas as latitudes; não importa qual seja a intensidade do sinal transmitido pelo detector de IV. Este procedimento tem a vantagem de tornar a foto fácil de interpretar; contudo não permitirá quantificar a temperatura.

CAPÍTULO II

INTERPRETAÇÃO DAS FORMAS DAS NUVENS E DAS CARACTERÍSTICAS DO TERRENO

2.1 CIRRUS E NUVENS MÉDIAS

As nuvens altas e médias são mais facilmente identificadas no IV do que no visível. Geralmente há um forte contraste entre os cinzas das nuvens altas e a superfície da terra, exceto no inverno das altas latitudes quando há pouca diferença de temperatura entre o solo e a atmosfera mais alta. Nas regiões polares, com forte inversão de temperatura, as nuvens podem aparecer mais escuras do que a superfície do solo.

Algumas vezes se torna difícil diferenciar entre Cirrus e nuvem média, na imagem IV, por causa das características de transmissão dos cristais de gelo que formam os Ci. Os Cirri são semitransparentes à radiação infravermelha no comprimento de onda de 11μ . Sua transmissividade depende da espessura vertical e da concentração de gelo dentro da nuvem. Quando é menos espessa fica mais transparente à radiação IV. Por exemplo, uma camada de Cirri de certa concentração de gelo e tamanho de partículas transmite 80% da radiação vinda de baixo se tiver espessura de 0,5 Km, mas se a espessura fosse de 5,0 Km somente 20% seria transmitida.

O RVIV do satélite detecta uma combinação de radiação fria do topo dos Ci com radiação mais quente transmitida para cima através das primeiras e registra um valor integrado. Por isso o topo de alguns Ci pode aparecer mais quente e mais baixo do que é na realidade (Figura II.1).

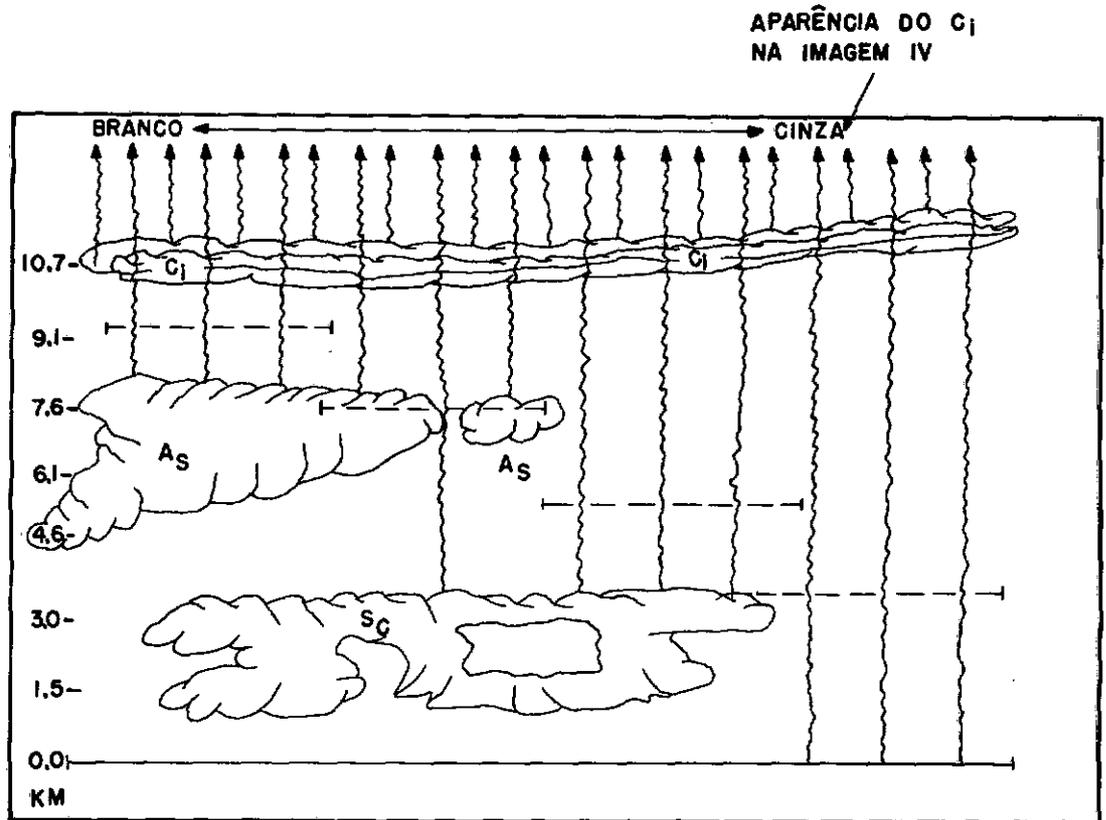


Fig. II.1 - Esta figura mostra o efeito das nuvens mais baixas sobre a radiação emitida por uma camada uniforme de cirrus. Admite-se não haver grandes inversões de temperatura. As linhas onduladas representam a fonte de radiação que atinge o sensor do satélite. As linhas horizontais tracejadas indicam a altura dos topos dos C_i calculados com base na temperatura integrada recebida pelo RVIV. À medida que as nuvens em baixo dos C_i diminuem, em quantidade, e ficam mais baixas, os C_i aparecem progressivamente mais cinzas e quentes na imagem IV. As alturas dadas aqui são para efeito de ilustração somente, mas, são representativas de variações que podem, na realidade, ocorrer. Quando a superfície por baixo for suficientemente quente, um C_i, quase transparente, pode parecer até com 3 Km de altura.

O nível de cinza do Ci na imagem IV é bastante variável porque depende da espessura da nuvem, da temperatura da superfície imediatamente abaixo e da estrutura da temperatura da atmosfera. Numa atmosfera sem fortes inversões, um Cirrus pouco espesso com nuvens médias por baixo vai aparecer bem mais frio no IV do que seria se estivesse sozinho. Neste caso o sensor detecta radiação tanto da nuvem média quanto do Ci. Caso haja radiação do solo ou da superfície oceânica chegando ao detector através do Ci, seu nível de cinza poderá ser confundido com o de nuvens médias. Nas regiões polares, com forte inversão, é possível os Cirri estarem a temperaturas mais altas que a superfície nevada. (Figura II.2).

É mais fácil identificar nuvens Ci em imagens de IV do que nas de visível. Os Ci pouco espessos têm albedo baixo no visível e por esta razão contrastam pouco com as superfícies líquidas ou do solo. Porém, na imagem IV se destacam bastante, embora seja difícil estimar com precisão a temperatura. Há muitos tipos de Ci que apresentam características semelhantes, tanto em dados de visível quanto nos de IV. As camadas densas de Ci e as bigornas dos Cb ativos apresentam albedo elevado e também emitem radiação a temperaturas baixas; por este motivo aparecem muito claros nas imagens do visível e do IV.

Visto que as nuvens médias e os Ci pouco espessos apresentam quase que o mesmo nível de cinza, fica difícil diferenciá-los. Uma área de nuvens médias, formadas de elementos abaixo da resolução do sensor aparecerá mais quente do que realmente é, e deste modo pode ser confundida e identificada como área de nuvens baixas.

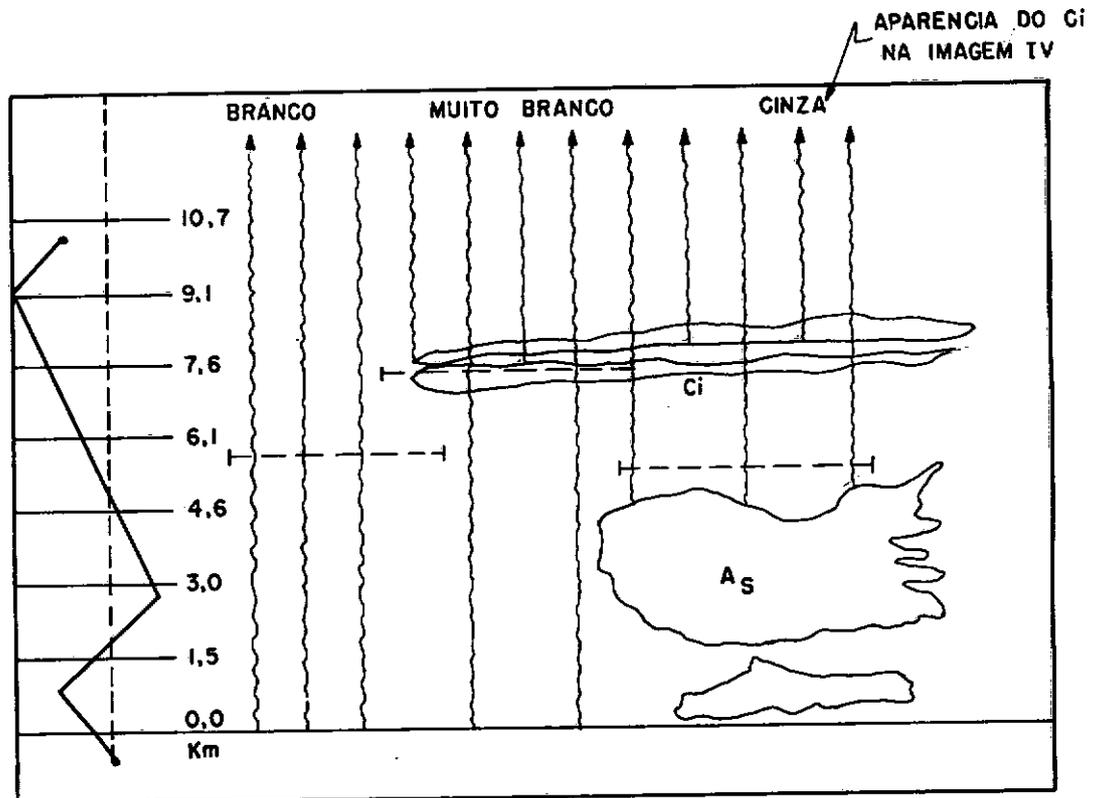


Fig. II.2 - Esta figura mostra uma camada de Ci uniforme sobre camada de nuvens mais quentes do que a superfície da terra. As linhas traçadas horizontais e as representações esquemáticas seguem a mesma convenção da Figura II.1. A curva de sondagem do lado esquerdo indica a intensidade da inversão neste exemplo. A temperatura do solo é a mesma que nos 500 MB. Neste caso o Ci sobre o solo frio aparece mais branco do que o solo sozinho e fica mais cinza quando está sobre nuvem baixa mais quente do que a superfície do terreno.

2.2 CUMULUS

As nuvens convectivas têm aparência semelhante nas imagens do visível e do IV. As formas e aspectos que servem para identificar nebulosidade cumuliforme no visível estão geralmente presentes na imagem IV. Uma grande massa de nuvem marcada por protuberâncias convectivas tem uma aparência irregular e encaroçada na foto, do visível, por causa das sombras. A mesma massa de nuvem vista no IV mostra textura similar que resulta do contraste entre os topos mais frios (mais brancos) das nuvens convectivas e a cobertura mais quente (mais escuro) que forma a plataforma das chaminés de convecção. Pode-se estimar a intensidade e a extensão vertical dos cumuli na foto de IV pela medição ou estimativa de suas clarezas e pelo tamanho de suas sombras a uma dada latitude. No IV as nuvens muito brancas indicam grande atividade convectiva e no visível mostram sombras indicadoras de grandes alturas.

2.3 NEVOEIRO E ESTRATUS

Uma área coberta de nevoeiro ou de estratus tem nas fotos de nuvens aparência quase uniforme, lisa e de cor cinza ou leitosa. Nas fotos de vídeo as bandas do nevoeiro ou estratus são muitas vezes abruptas e distintas; as nuvens terminam rapidamente ao pé das montanhas do litoral ou ao longo de uma linha de cisalhamento do vento nos níveis mais baixos. Nas imagens de IV noturno é difícil distinguir a existência de nevoeiro e de estratus porque a diferença de temperatura entre o solo e estes é pequena. Se houver uma forte inversão de temperatura, na superfície, à noite, o topo do estratus e nevoeiro emitem radiação a temperatura mais alta do que o terreno

em torno. Por isso a região de nevoeiro e de estratus mostra-se mais escura do que a região sem cobertura. Em imageamento de IV este fenômeno é chamado de "nevoeiro negro" ou "stratus negro".

Algumas vezes a temperatura emitida pelo topo da camada de nevoeiro ou de estratus poderá estar aproximadamente igual a do terreno em torno. Estas áreas de nevoeiro espesso não mostram as referências de terra como litoral, rios e lagos. É mister, neste caso, familiaridade com os aspectos topográficos que normalmente aparecem nas imagens IV, quando não há cobertura, para que se possa determinar a distribuição de nevoeiro e estratus onde estes possuem a mesma temperatura do terreno. Se as áreas cobertas aparecem mais claras (mais frias) do que a área em torno, à noite, é provável que o nevoeiro seja espesso. Neste caso pode haver alguma convecção interna ou induzida, com precipitação de chuviscos (garoa). Nuvens estratocumulus, que não em forma celular, e áreas de água fria completa ou parcialmente rodeada de água mais quente tem uma aparência muito semelhante ao nevoeiro e estratus.

2.4 SUPERFÍCIE CONTINENTAL

Litoral, montanhas, lagos e rios, gelo, neve e correntes oceânicas podem ser detectadas nas imagens de IV. Quanto maior o contraste de temperatura, mais evidente se tornam os acidentes geográficos. O contraste da temperatura varia com a latitude, com a estação do ano e com a hora do dia. Por exemplo, o litoral é mais fácil de ser visto no IV num dia de verão quando há grande diferença de temperatura entre a terra e a água. Durante a noite pode-se dar o contrário, a terra se esfria rapidamente enquanto a

água mantém sua temperatura; tendo-se, em consequência, durante o dia, a terra em cinza bem escuro e a água em cinza mais claro; à noite, a água mantém praticamente o mesmo cinza enquanto a terra adquire cinza aproximadamente igual ao da água ou mais claro. Em consequência, o litoral, não aparece bem destacado da água. A variação diurna da temperatura do solo se torna notável quando se trata de montanhas muito elevadas como os Andes. Durante o dia as montanhas estão muito quentes (preto) e à noite, pelo efeito da radiação, muito frias (brancas). Esta é a razão porque o lago Titicaca aparece tão claramente em IV de dia; seu cinza claro se destaca no terreno quente ao redor. No inverno, durante a noite, é o contrário, o lago aparece em cinza ao passo que o terreno é quase branco. A cobertura de gelo nos Andes, visível na época mais fria, será bem visível durante o dia, na imagem IV. Durante a noite o contraste com o solo não congelado diminui por causa da radiação. Do mesmo modo, as massas de água oceânicas se destacam uma das outras. As regiões desérticas também apresentam grande variação diurna de temperatura nas imagens de IV.

CAPÍTULO III

ANÁLISE

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão analisadas imagens de IV. Através da análise, serão aplicados, ao estudo de nuvens, os fundamentos, expostos nos dois primeiros. Os dados brutos de IV e de visível, usados aqui, foram captados pela estação rastreadora do INPE em Cachoeira Paulista. As interpretações foram realizadas com base nos dados contidos nas imagens dos satélites NOAA-3 e NOAA-4 somente. Procurou-se, também, mostrar como é possível acompanhar o desenvolvimento dos distemas de nebulosidade de escala média e sinótica com imagens de IV noturnas e diurnas. Usando dados de IV, de 12 em 12 horas, por um período de 48 horas sobre uma mesma área, pôde-se estudar o surgimento e desaparecimento dos sistemas de nebulosidade neste exemplo. Indicaram-se ainda as diferenças importantes entre imagens de IV e visível, entre IV diurno e noturno; outras diferenças importantes poderão ser observadas diretamente na análise de cada imagem. Com o fim de se entender melhor o que é "poder de resolução" dos sensores, foram apresentadas duas imagens do satélite ERTS.

No final do capítulo, apresentou-se uma sequência de imagens processadas nos USA, que ilustram a potencialidade do IV no estudo da estrutura vertical das perturbações.

3.2 DADOS BRUTOS DOS SATÉLITES NOAA-3 E NOAA-4

IMAGENS DE III.2.1 A III.2.6

A sequência de imagens de III.2.1 a III.2.14 foi preparada com dados brutos transmitidos pelos satélites NOAA-3 e NOAA-4 e captados pela estação rastreadora de Cachoeira Paulista, num período de testes. A qualidade das imagens é pobre, tanto no que diz respeito à recepção pelo instrumental de terra quanto à qualidade do material fotográfico. Apesar disso, serão utilíssimas na indicação das principais diferenças entre as características de uma imagem do visível e do IV.

A imagem III.2.1 do visível foi tomada aproximadamente às 10 hs locais. A letra L está colocada sobre o Oceano Pacífico, coberto por extensa cobertura de stratus e, provavelmente, também nevoeiro; indica ainda a salina de Ujuni (20°S , 68°W) e o lago Titicaca ($15,5^{\circ}\text{S}$, $67,8^{\circ}\text{W}$). A letra D aponta uma região na qual aparece uma estria escura orientada de norte para sul. Por esta imagem do visível, apenas, não é possível se deduzir se a estria escura é o efeito do cisalhamento do vento na camada de stratus ou a sombra de uma faixa de Ci ao longo de uma corrente de jato. Mas na imagem III.2.3, letra D, noturna, 12 horas mais tarde, já se pode verificar a existência de uma faixa de Ci atravessando os Andes com orientação NW-SE. Na imagem III.2.1, ao sul da letra D, observa-se claramente o topo da cordilheira coberta de neve indo esconder-se, a 38°S , sob uma grande massa de nuvens convectivas. A 33°S , cruzando as montanhas geladas, há uma faixa de Ci que se confunde, a leste dos Andes e a 35°S , com a nebulosidade predomi-

minante na área. Na imagem III.2.3, a letra D, indica, a 73°W, um aglomerado de nuvens onde parece começarem os Cirri.

A imagem III.2.1 mostra sobre o continente, de C para E, estrias de pequenas nuvens que formam uma extensa faixa que vai para W até 5°S seguindo o contorno da cordilheira dos Andes. Na imagem III.2.2, noturna e tomada 11hs mais tarde, vê-se que há continuidade para este, a partir do ponto E, de nebulosidade semelhante à da imagem III.2.1. Desde que a nebulosidade, vista no visível, tenha aparecido também na IV noturna, 11hs mais tarde, é porque há uma perturbação de grande escala produzindo Ci. Com base só na imagem do visível não seria possível chegar-se a esta conclusão.

Seguindo na direção da faixa de Ci, que aparece ao sul de D na imagem III.2.1, há, na imagem III.2.2, letra F, uma grande massa nebulosa, superposta por tênues faixas de Ci. Estes Cirri resultam de uma corrente de jato que acompanha a frente fria.

As imagens III.2.3 e III.2.4 foram tomadas pelos satélites NOAA-3 e NOAA-4, respectivamente, com um intervalo de tempo entre uma e outra de 23 minutos e diferença longitudinal de cruzamento com o equador de 4,2 graus. É interessante notar como a forma da nebulosidade se altera com o ângulo de visão, principalmente nas bordas; vejam-se como exemplos as massas de nuvens G e aquela a oeste de D das imagens III.2.4 e III.2.3. Nestas imagens, todo o terreno mais elevado das cordilheiras, de norte para sul apresenta-se num cinza bem claro, devido à radiação noturna. De 13°S para o equador, o cinza se torna mais escuro e a cordilheira se estreita. De 30°S para

sul, há também um estreitamento da cordilheira fria, o que confunde a cobertura de neve com o solo muito frio. O lago Titicaca ($15,5^{\circ}\text{S}$; $67,8^{\circ}\text{W}$) pode ser visto, indicação L, em ambas as imagens como uma pequena área mais quente no meio das montanhas frias.

Nas imagens III.2.3 e III.2.4 é interessante, ainda, notar-se o aparecimento de uma nebulosidade C-H em forma de um dedo saindo da perturbação maior C-E. Na imagem de 12hs antes, III.2.1, não havia, ainda nenhuma indicação do aparecimento de C-H, a não ser muitas estrias de nuvens transversais à direção de C-E. A perturbação na direção de C-E intensificou-se em profundidade e ficou mais estreita em latitude.

Em III.2.1 foi indicado um campo de nuvens convectivas ativas, superpostas por uma corrente de jato. Nas imagens III.2.3 e III.2.4, 12 hs mais tarde, o sistema já se deslocou quase que totalmente para o interior do continente, restando sobre o oceano apenas algumas nuvens de tipo cumulus em dissipação.

As imagens III.2.5 e III.2.6 são aproximadamente 24hs depois de III.2.1. Observa-se que, de 5°S para sul, pouca mudança houve na configuração geral de nebulosidade. A perturbação C-E e C-H, no IV de III.2.5, é muito mais destacada do que na imagem de visível III.2.6, por causa do tipo de nuvens altas predominantes. Devido à hora local ser cedo, o continente ainda não foi aquecido suficientemente para se distinguir claramente o contraste terreno-oceano Pacífico. Na região tropical amazônica, predominam nuvens médias e baixas porque, sendo cedo, não houve bastante desenvolvimento

convectivo, como em IH. A cirrada ao longo da corrente de jato continua presente em B de III.2.5 e III.2.6.

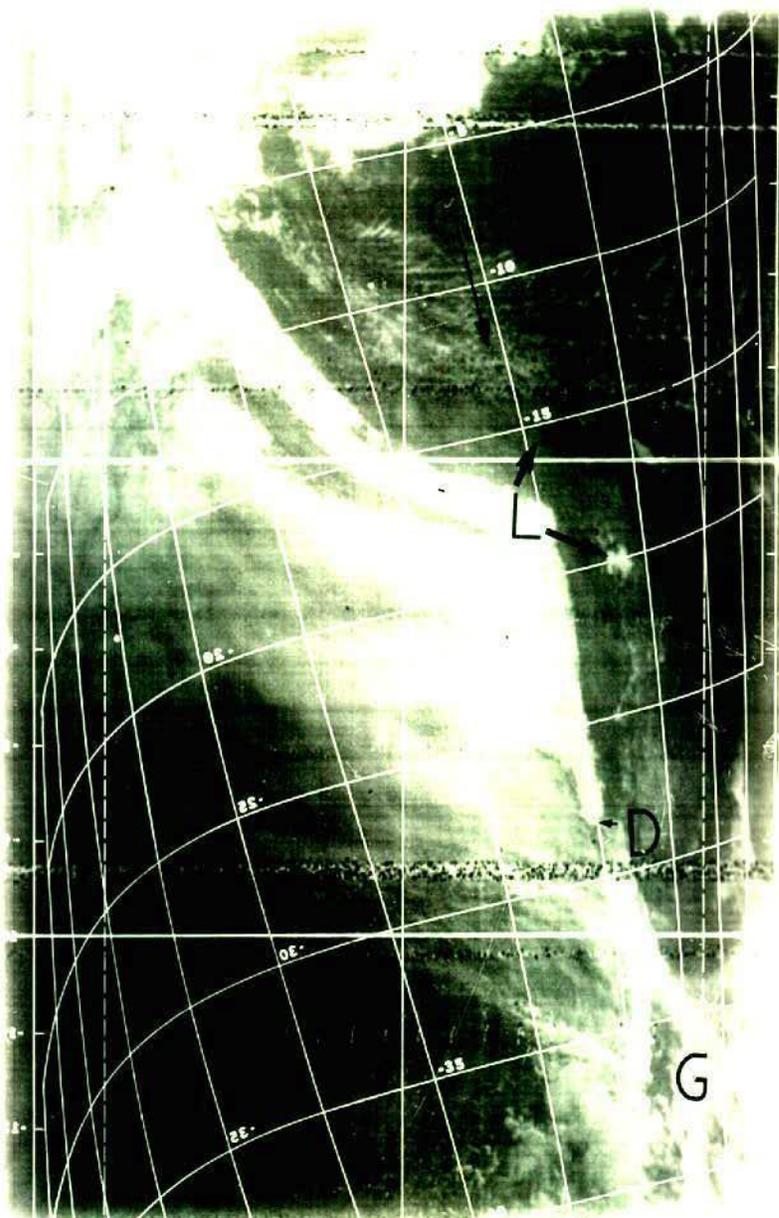


Imagem III.2.1 - SAT.NOAA-4-VISÍVEL
L.-69,7-DATA:01/08/75-H:13:19:39

III.2.1

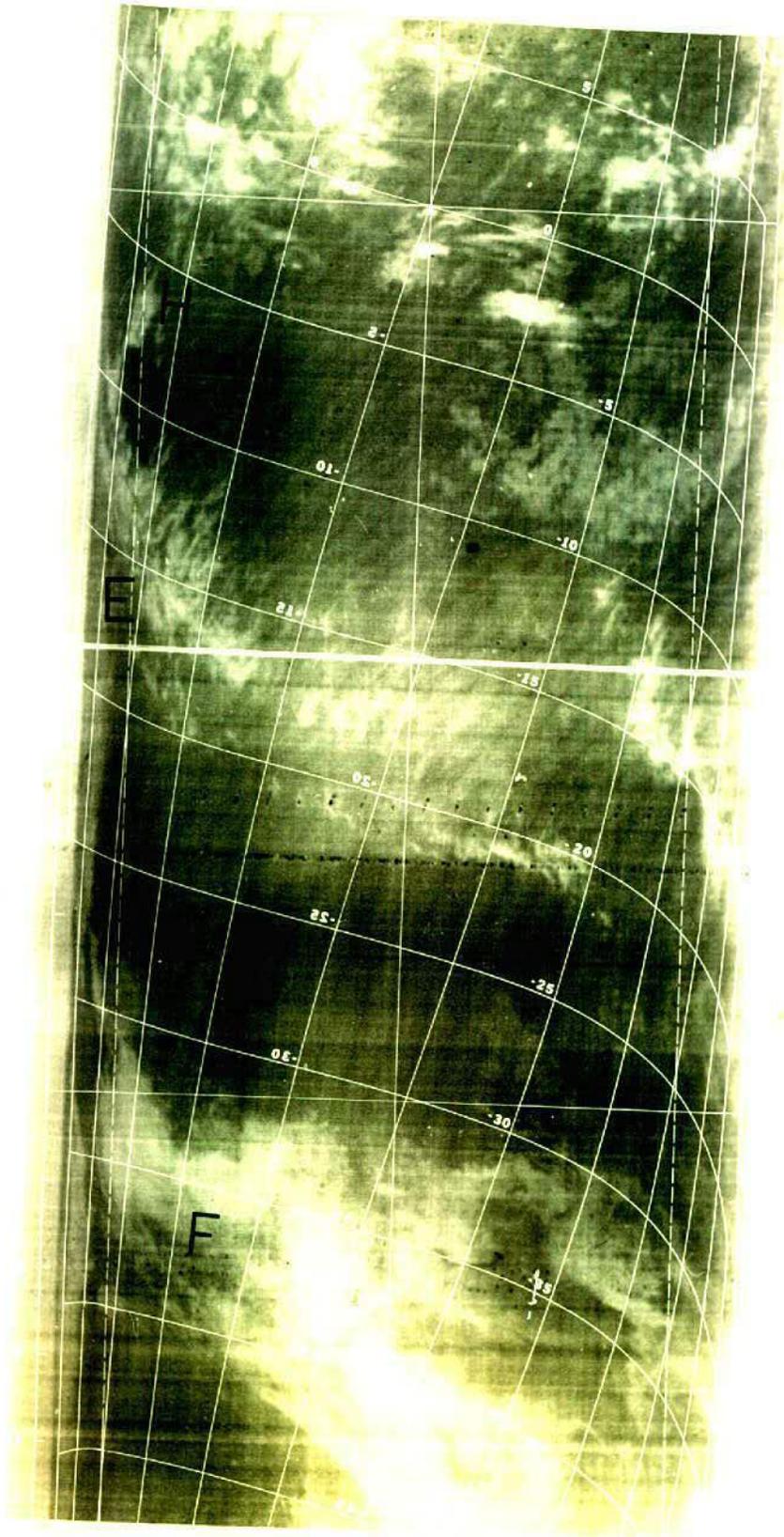


Imagem III.2.2-SAT.NOAA-4-IV-N
L.312,1-DATA:01/08/75-H:23:52:14

III.2.2

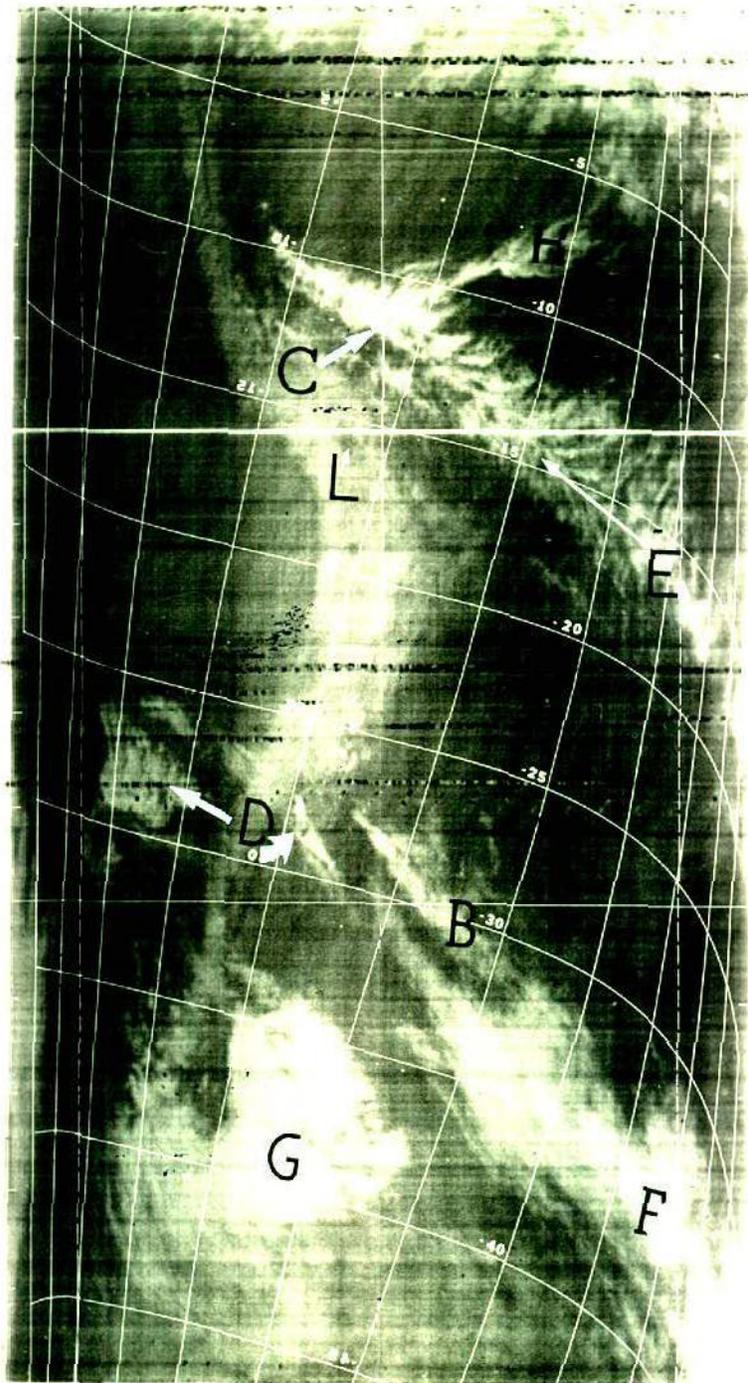


Imagem III.2.3-SAT.NOAA-3-IV-N
L.+287,6-DATA:02/08/75-H:01:24:29

III.2.3

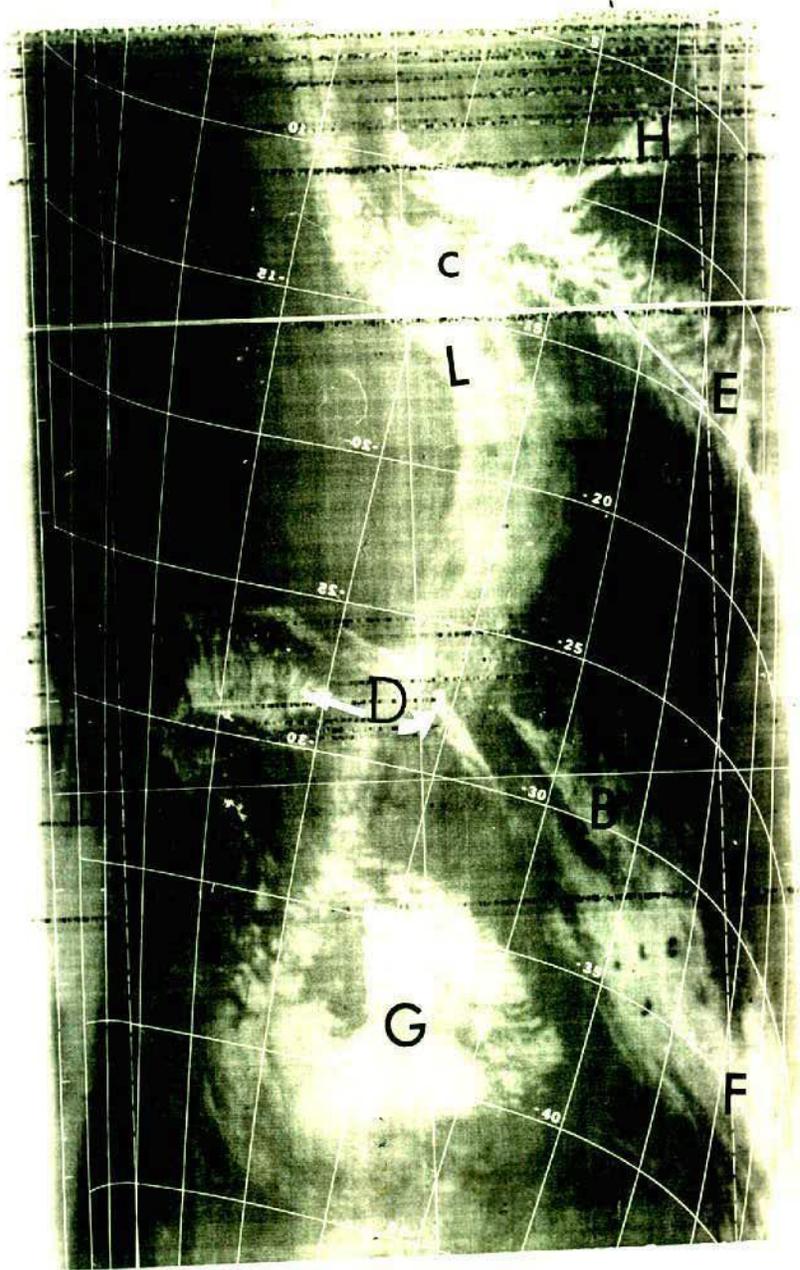


Imagem III.2.4-SAT.NOAA-4-IV-N
L.+283,4-DATA:02/08/75-H:01:47:14

III.2.4

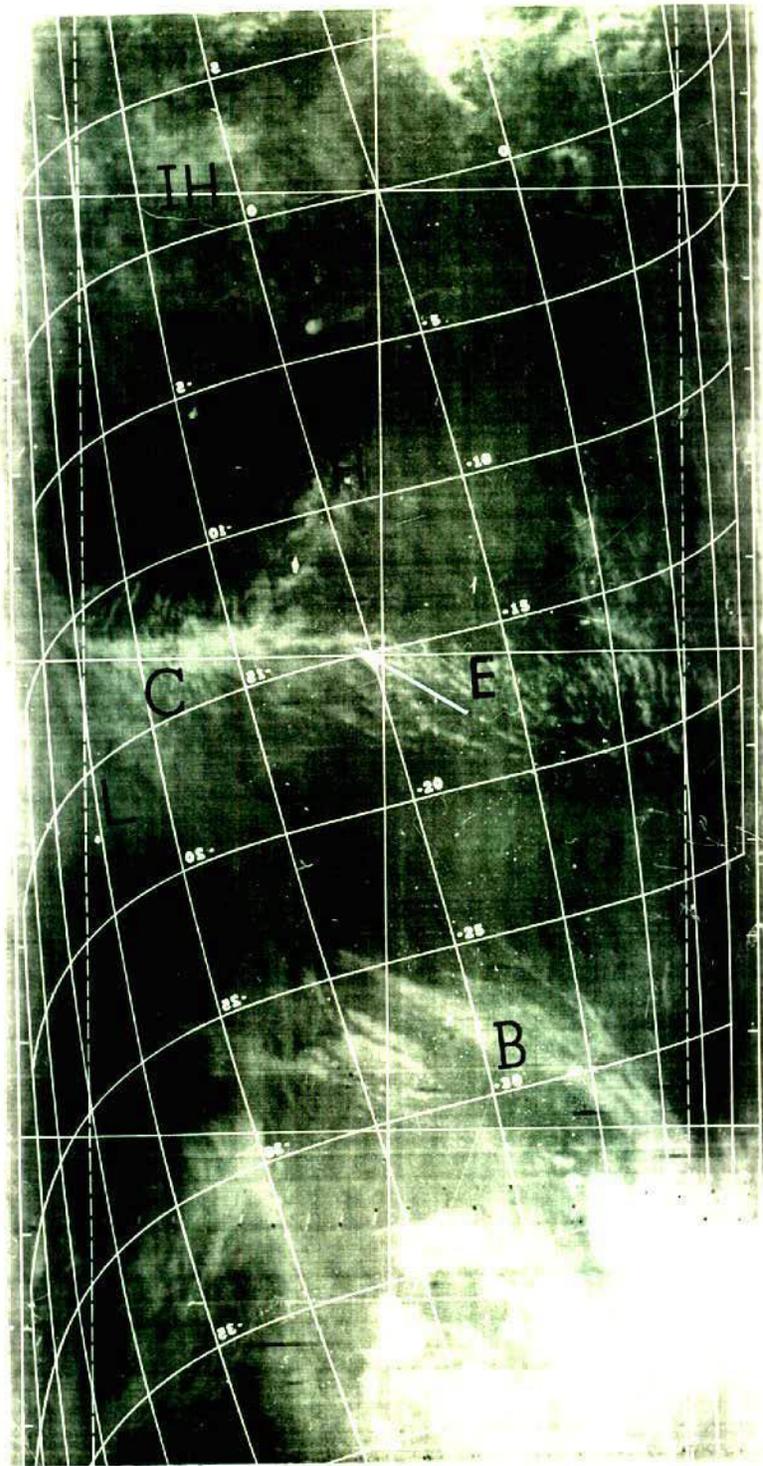


Imagem III.2.5-SAT.NOAA-4-IV-D
L.-54,7-DATA:02/08/75-H:12:19:41

III.2.5

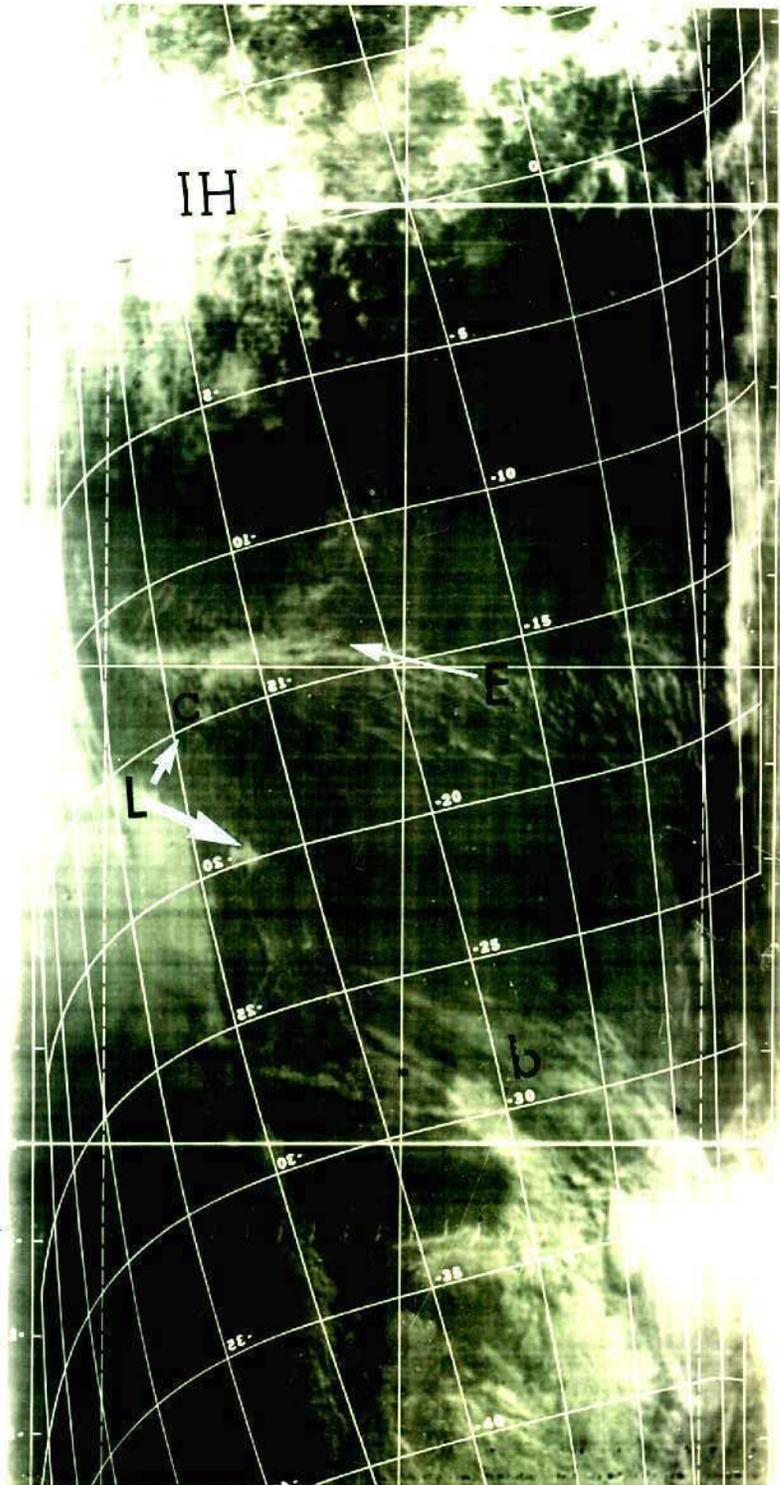


Imagem III.2.6-SAT.NOAA-4-VISÍVEL
L.-54,7-DATA:02/08/75-H:12:19:41

III.2.6

IMAGENS III.2.7 E III.2.8

As imagens III.2.7 e III.2.8 são simultâneas, sendo que III.2.8 é em IV. A hora local é aproximadamente 10 da manhã. O centro do continente está sob circulação AC. Na região, acima de $5,0^{\circ}\text{S}$, para o equador, predominam nuvens médias e altas. No IV verifica-se a existência da mesma nebulosidade, com aumento de temperatura para o oeste; e, conseqüentemente, as nuvens são mais baixas. Na imagem III.2.7, tem-se a indicação, a norte de A, do lago Titicaca ($15,5^{\circ}\text{S}$, $67,8^{\circ}\text{W}$), e a sul (flecha menor) da salina de Uiuini, ($20,0^{\circ}\text{S}$, $68,0^{\circ}\text{W}$), branca no visível. De B a IC aparece toda a cordilheira dos Andes, moldurada de nuvens estratiformes (stratus e stratocumulus). Esta nebulosidade baixa, característica da região, avança do oceano para o interior do continente até encontrar as terras mais elevadas que formam uma barreira à sua passagem. A flecha, em IC, indica os cumes gelados dos Andes, também destacados em IV. Na foto de visível III.2.7, observa-se um extenso campo de stratocumulus, composto de pequenas células que decrescem do lado sul e oeste e na direção de ID. Esta região do pacífico é dominada por circulação AC. Perto do continente, há uma corrente oceânica fria que impede a formação de nebulosidade baixa.

O campo de temperatura é dado pela imagem III.2.8. A região montanhosa, de 10°S para baixo, continua fria apesar de já serem 10 horas locais. De D para IC, no visível, não há nebulosidade, contudo o cinza claro, o mesmo que das montanhas, indica a temperatura baixa da água do mar. É interessante verificar no IV que a nebulosidade intensa, apontada pela flecha de D no visível, está à mesma temperatura da água do mar entre D-IC. Na ima

gem do visível, de D para o oeste até ID, aparece um aumento de nebulosidade, ao passo que no IV, o nível de cinza tende para o escuro; este fato indica serem os topos dos strati e stratocumuli desta área mais quente do que a água do mar em D e do que o solo montanhoso. Na imagem III.2.8 de IV surge também uma faixa mais escura de B a IC, correspondente ao visível claro-escuro, ao longo da costa. No IV esta faixa indica uma extensa região de terras mais baixas entre o mar e as montanhas, sem cobertura de nuvens ou coberta somente de nevoeiros em dissipação.

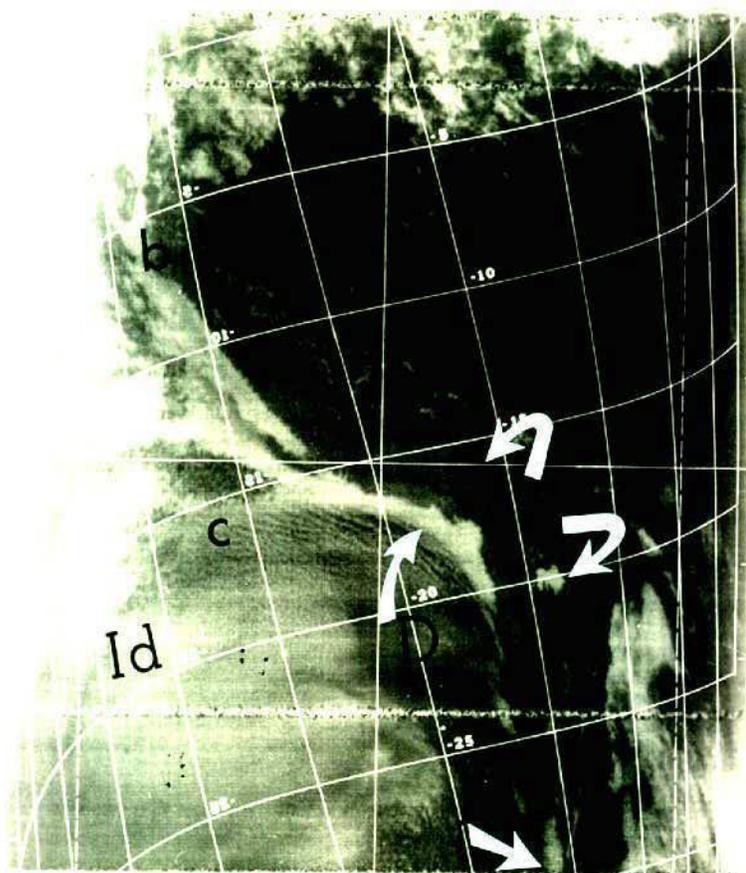


Imagem III.2.7-SAT.NOAA-4-VISÍVEL
L.-68,5-DATA:03/08/75-H:13:14:43

III.2.7

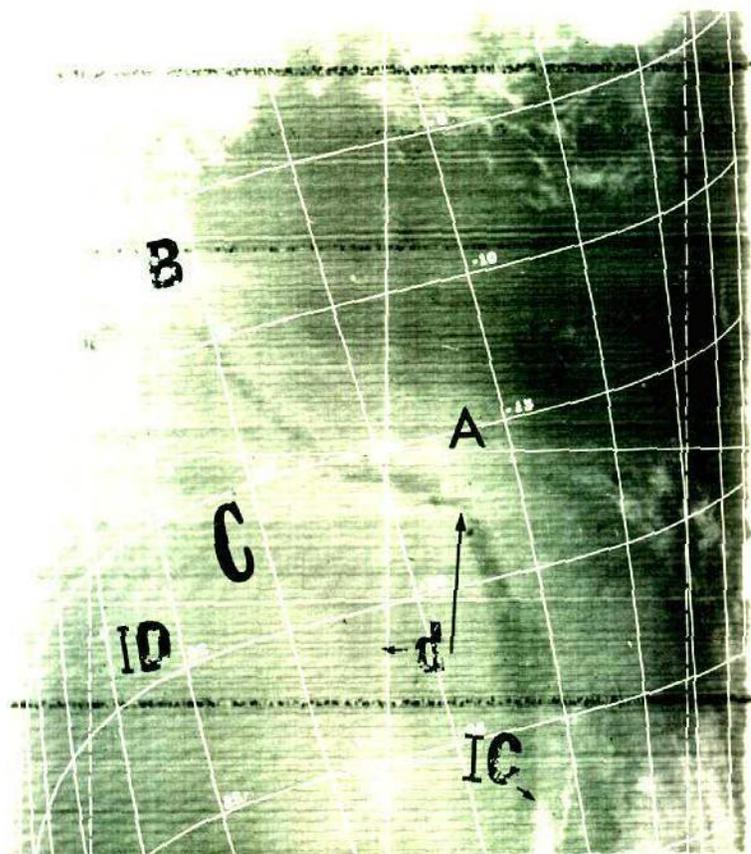


Imagem III.2.8-SAT.NOAA-4-IV-D
L.-68,5-DATA:03/08/75-H:13:14:43

III.2.8

IMAGENS III.2.9, III.2.10 E III.2.11

A imagem III.2.9 é noturna e a hora do cruzamento com o equador foi aproximadamente de 21 hs locais. Toda a região, a oeste do meridiano 55 e entre 15°S e o equador, está coberta por agrupamentos de nuvens altas e médias, sendo que para sul, entre 10 e 15 graus (indicação C) a atividade convectiva está reduzida e sob a linha do equador os sistemas continuam ativos.

Na foto III.2.9, a flecha mais larga aponta um aglomerado de nuvens médias com vestígios de cirrus. Nas imagens de 10hs mais tarde, este aglomerado aparece quase na mesma posição, sem muita alteração de forma e tamanho; nas imagens III.2.10 e III.2.11 está indicado à esquerda de C. A nebulosidade, que aparece à direita de C no visível III.2.10 é característica do litoral do estado da Bahia. Não tem grande profundidade na atmosfera e para o interior do continente o tipo de nebulosidade predominante é médio e baixo.

Na imagem III.2.10 do visível, há uma grande nebulosidade, com bastante sombras indicativas da presença de camadas superpostas de nuvens. As nuvens apontadas por B, em III.2.10, simplesmente não aparecem no IV de III.2.11; isto significa que esta camada de nuvens é quente e baixa e seu aspecto no visível, é característico de stratus. Em A, do visível, indica-se uma nuvem que apresenta sombras e, ao sul desta, toda a área está coberta de tal maneira, que não se pode avaliar rapidamente quais as nuvens ativas. Mas, pelo exame da imagem IV III.2.11, vê-se imediatamente que as nuvens que têm sombras no visível são as que aparecem no IV em cinza muito

claro. A letra F denota uma nebulosidade em forma de dedo com alguns Cb, em forma de cogumelo, na ponta. Passando do IV para o visível pode-se perceber agora a mesma nebulosidade contornada por sombras do lado oposto ao sol. A seta, mais à direita, em A de III.2.11, indica uma nuvem que aponta para o oeste e que não aparece em III.2.10 do visível; a ponta desta nuvem é a bigorna de um Cb. A flecha curva de B mostra, no IV, uma faixa de Ci, provavelmente resultante de um Cb em dissipação, que na imagem do visível não se distingue de uma faixa de stratocumulus.

Na imagem III.2.9, pode-se ver nitidamente o lago Titicaca enquanto que a salina de Uuni não aparece porque está à mesma temperatura do terreno.

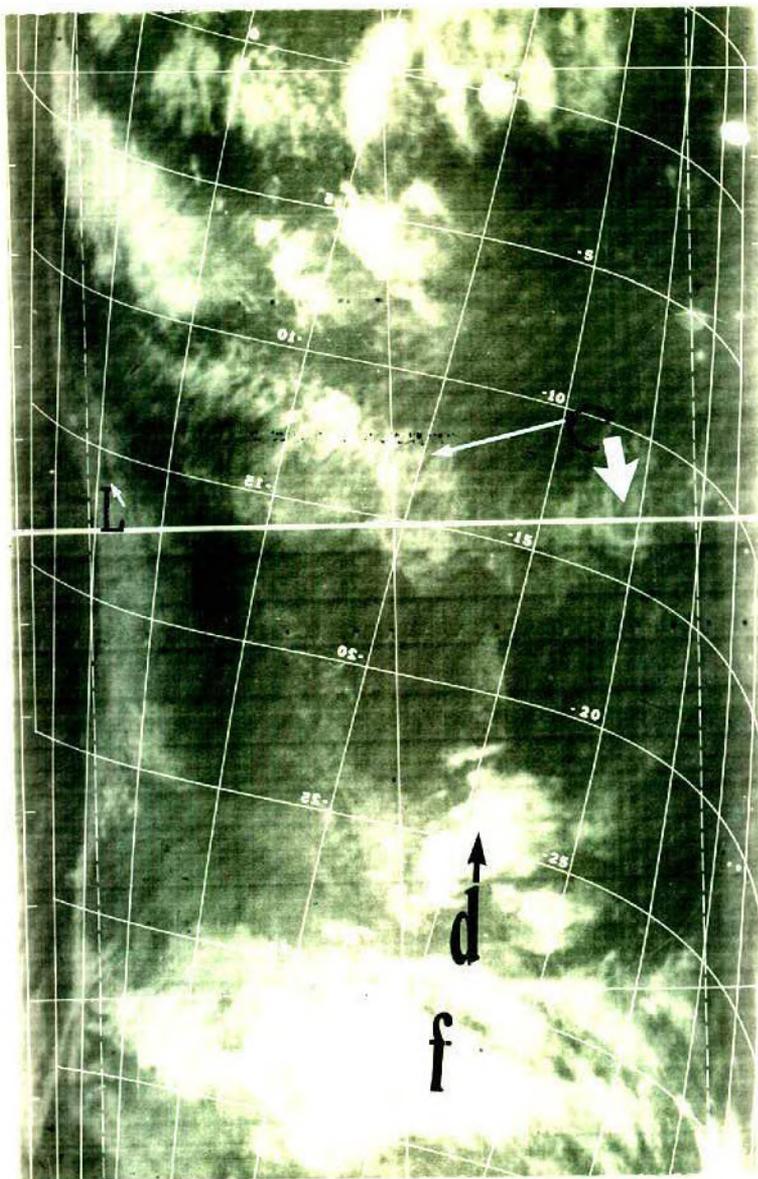


Imagem III.2.9-SAT.NOAA-4-IV-N
L.+299,6-DATA:05/08/75-H:00:42:19

III.2.9

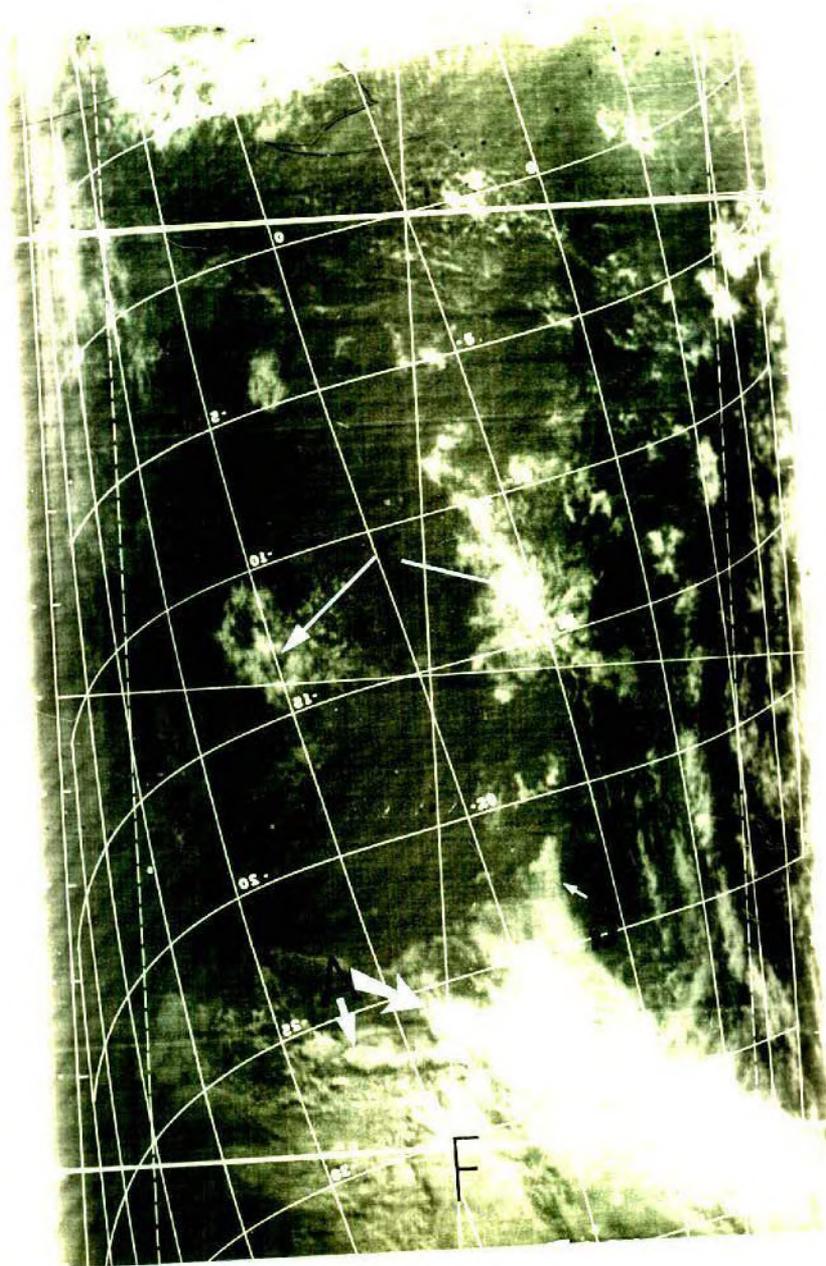


Imagem III.2.10-SAT.NOAA-4-VISÍVEL
L.-38,5-DATA:05/08/75-H:11:14:46

III.2.10

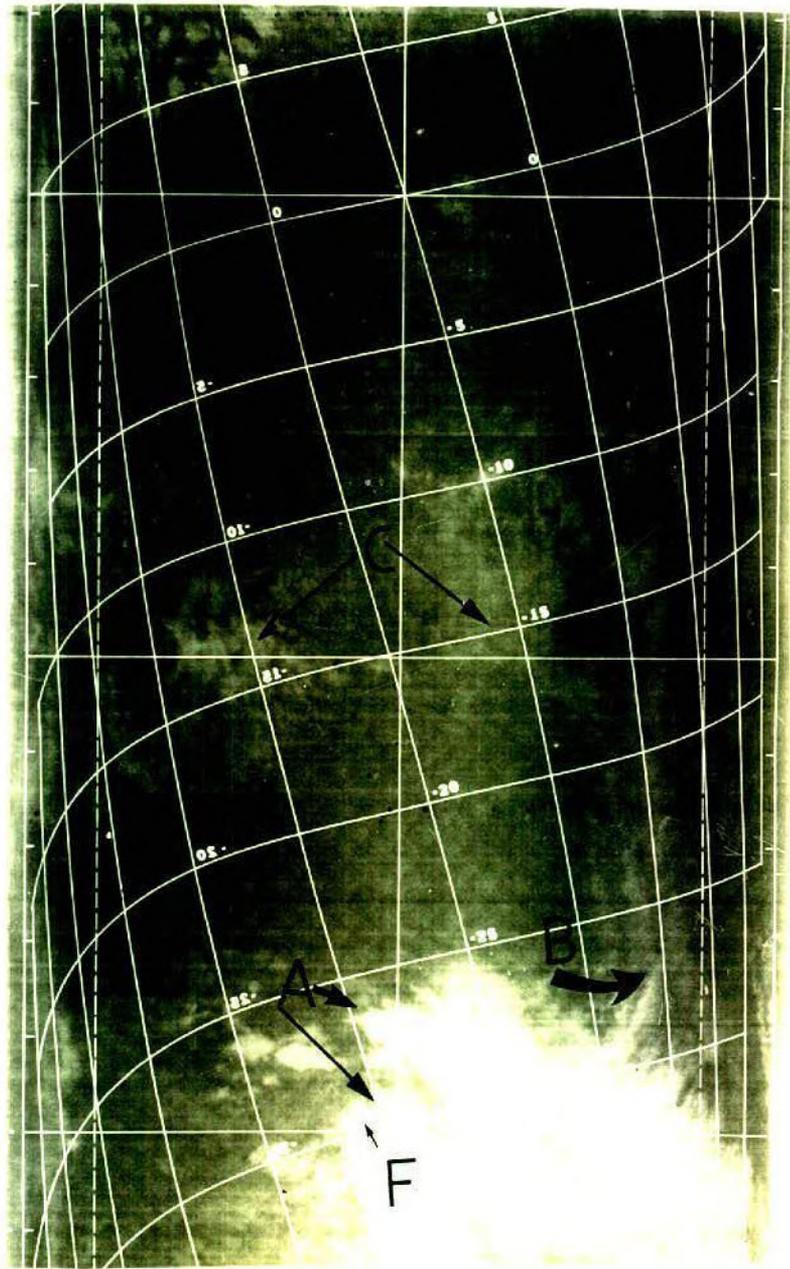


Imagem III.2.11-SAT.NOAA-4-IV
L.-38,5-DATA:05/08/75-H:11:14:46

III.2.11

IMAGENS III.2.12, III.2.13 E III.2.14

As imagens III.2.12 visível e III.2.13 IV foram tomadas aproximadamente às 10hs locais. Em A do visível indicam-se três tipos de nebulosidade inteiramente distintas um do outro. À direita de A aparece um aglomerado de Cb aureolado por tênue nebulosidade que pode ser de cirrus. A setinha menor para NW indica uma extensa cobertura que se prolonga para norte. Pela imagem do visível, tanto pode ser interpretada como um campo de pequenos cumuli, abaixo da resolução do sensor, como o remanescente de Cb em dissipação. A oeste de A, aponta-se uma grande nebulosidade, que cobre as terras mais baixas a leste dos Andes e se prolonga para norte, até encontrar as últimas montanhas próximas ao oceano.

Na imagem IV, III.2.13, tem-se imediatamente melhor conhecimento da estrutura vertical dos três tipos de nebulosidade indicados por A da imagem visível. A cobertura a NW de A realmente é composta de pequenos cumuli e outras nuvens baixas mais quentes; não aparecem na imagem IV. O aglomerado de Cb a leste de A, é muito ativo. No IV cobre uma área maior do que no visível porque a auréola de nuvens vistas tenuemente em III.2.12 são cirri a mesma temperatura do topo das nuvens no centro do aglomerado. A nebulosidade a oeste de A no IV mostra-se, de 5°S para sul com a mesma forma que no visível, porém a uma temperatura maior que no topo dos Cb a leste.

Na imagem visível III.2.12, toda a região oceânica, de 35°S até o equador, está coberta de stratus. Em C indica-se uma estria escura de NW-SE que, sobre os Andes, parece se prolongar em forma de estrias de Ci. No

IV, aparece uma faixa de Ci que avança sobre o mar. Disto resulta serem as estrias escuras, no visível, sombras dos Ci. A letra B no visível mostra a salina de Uiuni a NW; e a SW uma nebulosidade que se prolonga para sul até encontrar as geleiras das montanhas. De D para E no visível parece haver uma corrente de jato; no IV há indicação de temperaturas baixas somente sobre o mar, a oeste e a leste das montanhas na região de F para E.

Na imagem noturna, 11hs depois, verifica-se que a nebulosidade de B se deslocou bastante para leste e que de B para I se desenvolveu um centro de vortividade. Na imagem do visível III.2.12, de D para E havia alguma indicação de uma corrente de jato. Mas no visível III.2.13, simultâneo, apenas se verificaram temperaturas baixas (Cirrus) de F para E. E nos dados de III.2.14, finalmente se confirmou a formação de uma frente fria de F para E e não de D para E.

O sistema convectivo em A se desagregou espalhando alguns Cb para N e E e mantendo uma linha de Cb na direção N-S, na posição inicial de sua borda oeste.

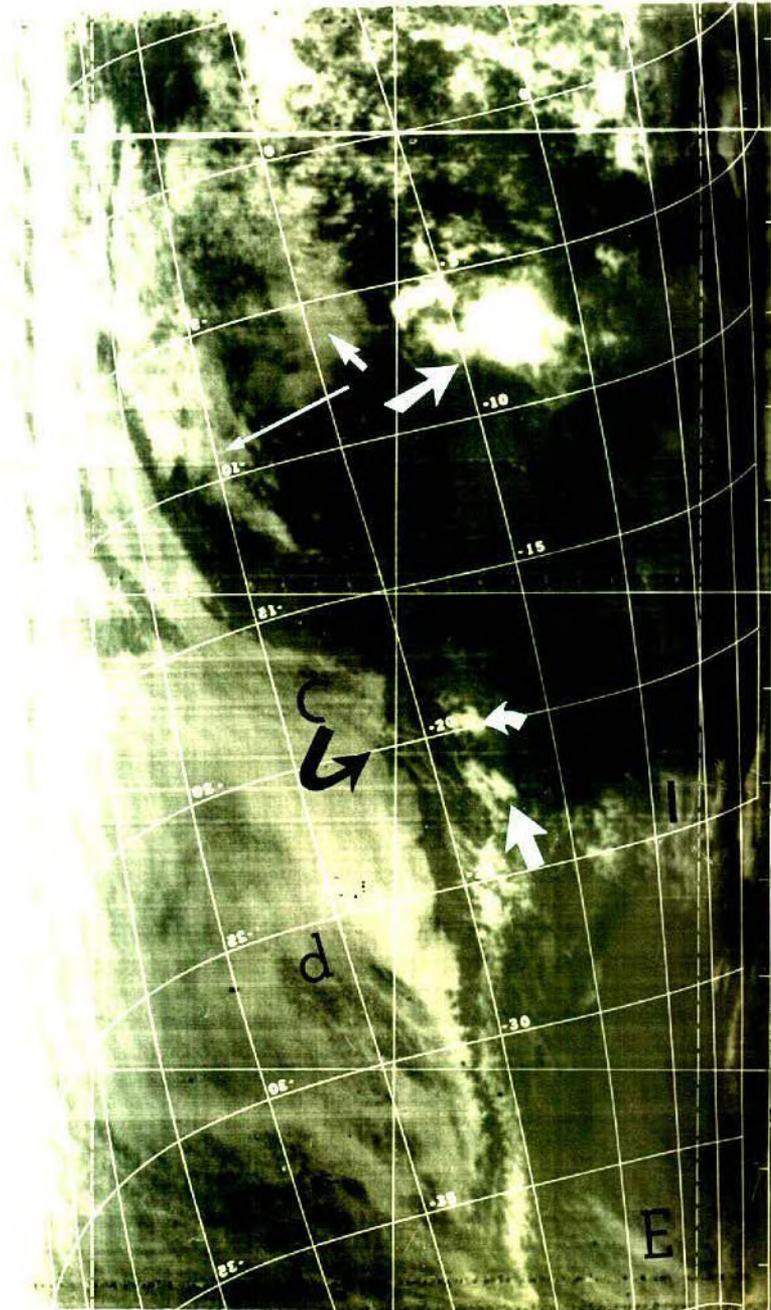


Imagem III.2.12-SAT,NOAA-4-VISÍVEL
L. -63,7-DATA:03/09/75-H:12:55:34

III.2.12

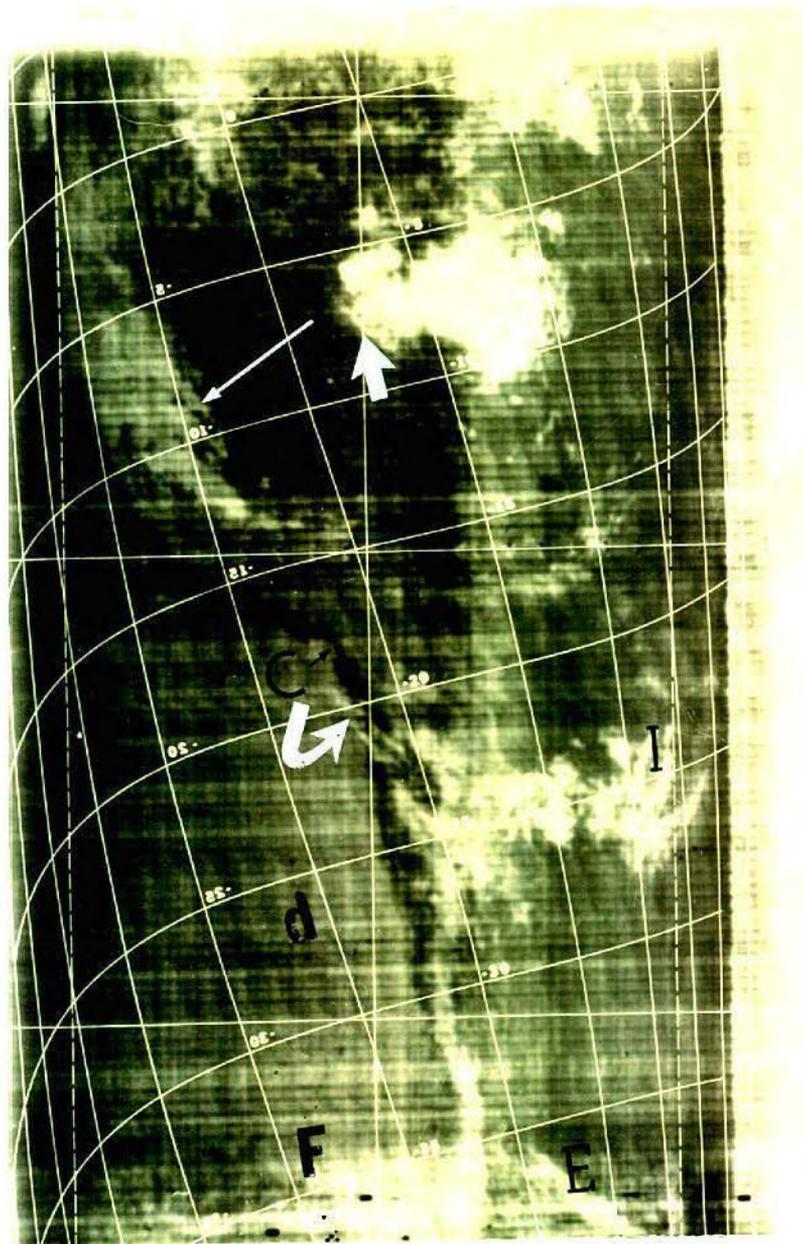


Imagem III.2.13-SAT.NOAA-4-IV-D
L.-63,7-DATA:03/09/75-H:12:55:34

III.2.13

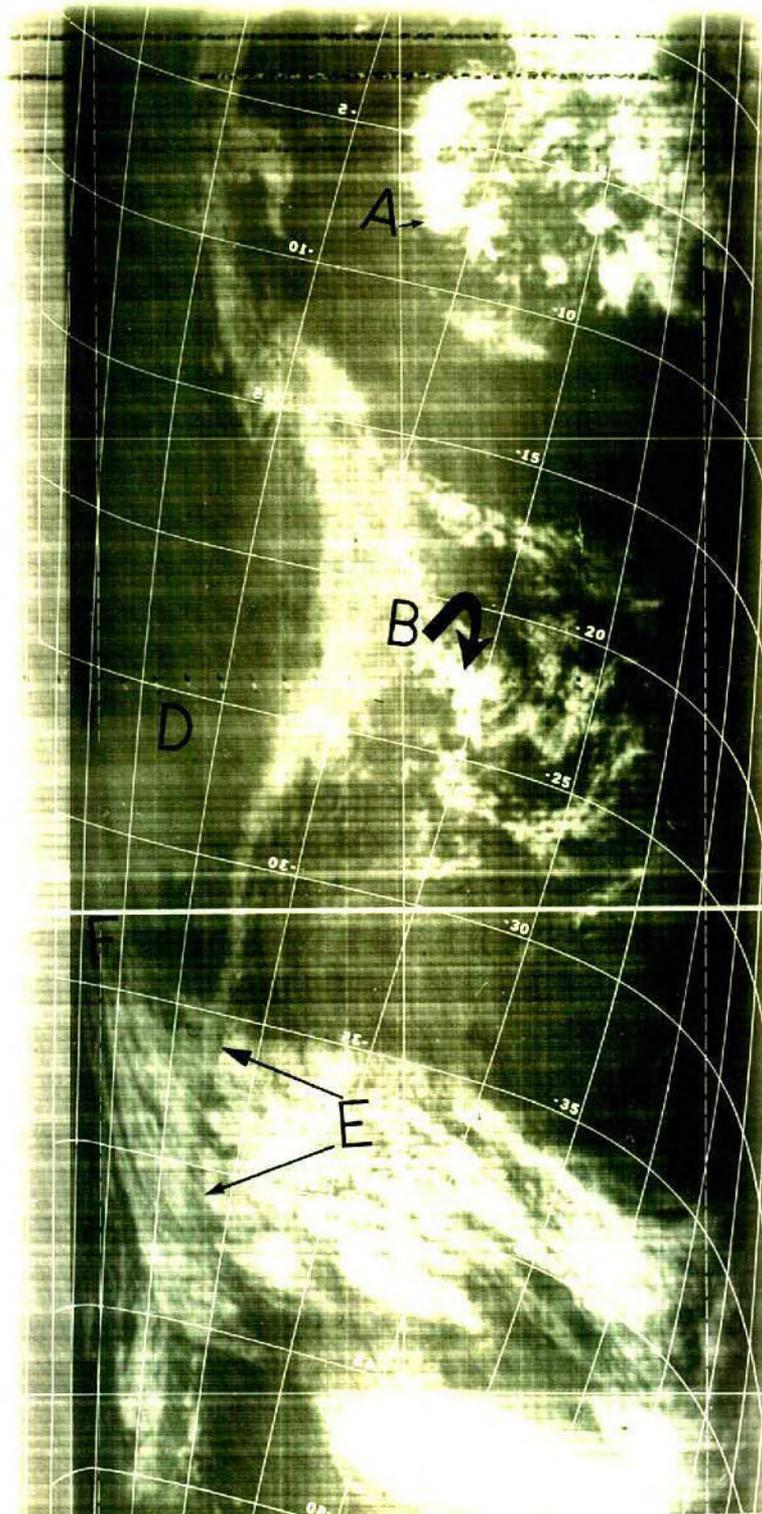


Imagem III.2.14-SAT.NOAA-4-IV-N
L.289,4-DATA:04/09/75-H:01:23:07

3.3 RESOLUÇÃO DO SENSOR

As imagens III.3.1 e III.3.2 são do satélite ERTS. Estas imagens são do canal 5 que abrange a região do espectro eletromagnético de 0,6 a 0,7 microns; isto é, usa parte do visível e parte do infravermelho. A altura do ERTS sobre o solo é de 914 Km. Sua resolução é de mais de 100 vezes maior que a dos satélites NOAA/ITOS. Isto significa que um objeto de dimensões de 70 metros é visível nas imagens do ERTS. O satélite NOAA somente "vê" objetos com mais de 7300 metros de dimensões.

As imagens III.3.1 e III.3.2 mostram duas regiões de 100 milhas náuticas quadradas. A primeira está no litoral do estado da Bahia e a segunda no litoral do estado do Ceará. No litoral do Brasil de 20°S até o estado do Piauí, há uma faixa úmida, de aproximadamente 200 Km de largura, do mar para o interior, que, em condições normais, está sempre coberta de pequenos cumulus de dimensões inferiores à resolução dos satélites meteorológicos. Nas imagens do visível, esta faixa de terra se caracteriza pelo nível de cinza mais claro que o do mar e do interior do continente; no IV, não chega a apresentar diferença de temperatura sensível em relação ao mar porque a pequena altura dos cumulus é inferior a 1500 metros.

Na imagem III.3.1, observa-se claramente o efeito da brisa, na região A da imagem. A, mais ou menos 1 Km da praia, está a frente de nebulosidade da brisa mais intensa devido à penetração do vento úmido perpendicularmente ao litoral. Com o aquecimento do solo, há convecção e o vento, para o interior, vai perdendo força, de tal maneira que a 100 Km de distância

cia do litoral, os cumuli já se tornam menores, por causa da redução da um
idade disponível. Os ventos acima do topo das nuvens invertem de direção, e
o ar aquecido retorna, para mergulhar sobre o mar, próximo ao litoral, numa
faixa de 30 Km de largura, confinada entre duas frentes de nebulosidade: a
primeira mais intensa, sobre a praia e a segunda, mais fraca, sobre o oce
no (letra A).

Na imagem III.3.2, observa-se o mesmo tipo de nebulosidade.
Nesta região, porém, as filas de cumuli, sobre o mar, continuam para o inte
rior do continente. Isto indica que estas não são causadas pela briza do mar,
mas, pelo cisalhamento dos ventos nos níveis mais baixos da troposfera. No
litoral do estado da Bahia, além da briza do mar, há o fator cisalhamento do
vento contribuindo na formação das nuvens. A fila de cumuli se orienta na di
reção do vetor cisalhamento vertical.



Imagem III.3.1-SAT.ERTS-FAIXA DE ONDA 0,6 μ a 0,7 μ -
CANAL 5 POSIÇÃO DO CENTRO DA FOTO: S15-55/W039-04-
H:14:40:00-DATA:06/10/73

III.3.1

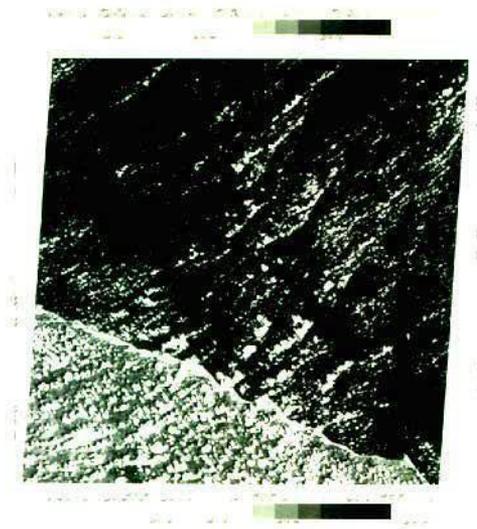


Imagem III.3.2-SAT.ERTS-FAIXA DE ONDA 0,6 a 0,7 -
CANAL 5 POSIÇÃO DO CENTRO DA FOTO: S02-54/W039-00-
H:15:32:00-DATA:06/01/74

III.3.2

3.4 DADOS PROCESSADOS

IMAGEM III.4.1 - DADOS DO NOAA EM MAPAS

Os dados de IV, recebidos pelos satélites NOAA/ITOS nos USA, são processados por computador no NESS, da seguinte maneira: os dados brutos são em forma de uma voltagem analógica que varia em função da energia incidente sobre o sensor do satélite. Em cada sequência de dados brutos, resultantes de uma varredura do radiômetro entre os horizontes, são feitas 1250 amostragens. Para cada amostra, é atribuído um valor, de um intervalo de 256 que depende da intensidade da voltagem. Estas quantificações das amostras brutas são convertidas em temperatura, de acordo com as relações de calibração do RV antes do lançamento. A calibração leva em conta variações na temperatura da nave que ocorrem enquanto o satélite passa do dia para a noite na trajetória de sua órbita. Os dados são também corrigidos para compensar a absorção atmosférica (escurecimento das bordas).

Em seguida, é localizada a posição da terra para cada uma das 1250 amostras de cada linha de varredura. Para se fazer isto, é necessário o conhecimento exato da posição da nave e de sua atitude. Estas informações são obtidas de dados de telemetria recebidos do satélite ao mesmo tempo que os dados do RV. Depois da localização correta da posição, o programa mapeador arranja os dados de tal maneira que possam ser expostos numa imagem estereográfica polar ou Mercator, com as respectivas grades. Na projeção estereográfica polar, há alguma perda de resolução espacial, para o lado dos polos, nos dados mapeados, porque este tipo de projeção não mantém a igual

dade de área. Os dados de IV, em mapas, têm uma resolução de 4mn de 20⁰S a 20⁰N, mas, nos polos, esta resolução cai para 8mn. As imagens gradeadas podem ser expostas em níveis de cinza, que representam intervalos de temperatura, ou em números. Quando mostrados em números, haverá sobre o mapa, valores numéricos somente.

Neste diagrama são mostrados os mesmos dados de IV em dois formatos diferentes. A parte inferior, mostra os dados de IV brutos transformados em imagem com grade numa estação APT. As grades fornecidas às estações APT são deformadas para se ajustarem aos dados. A imagem de nuvens (superior) mostra os mesmos dados processados por computador e mapeados numa projeção estereográfica polar. A parte superior do diagrama mostra a superfície curva da terra vista pelo satélite. O programa de mapeamento, não mostra os dados perto do horizonte, onde os erros de localização, devido à contração da área, são grandes e as correções do escurecimento do horizonte atingem um máximo. A borda dos dados mapeados é indicada por linhas tracejadas em todas as três partes do diagrama.



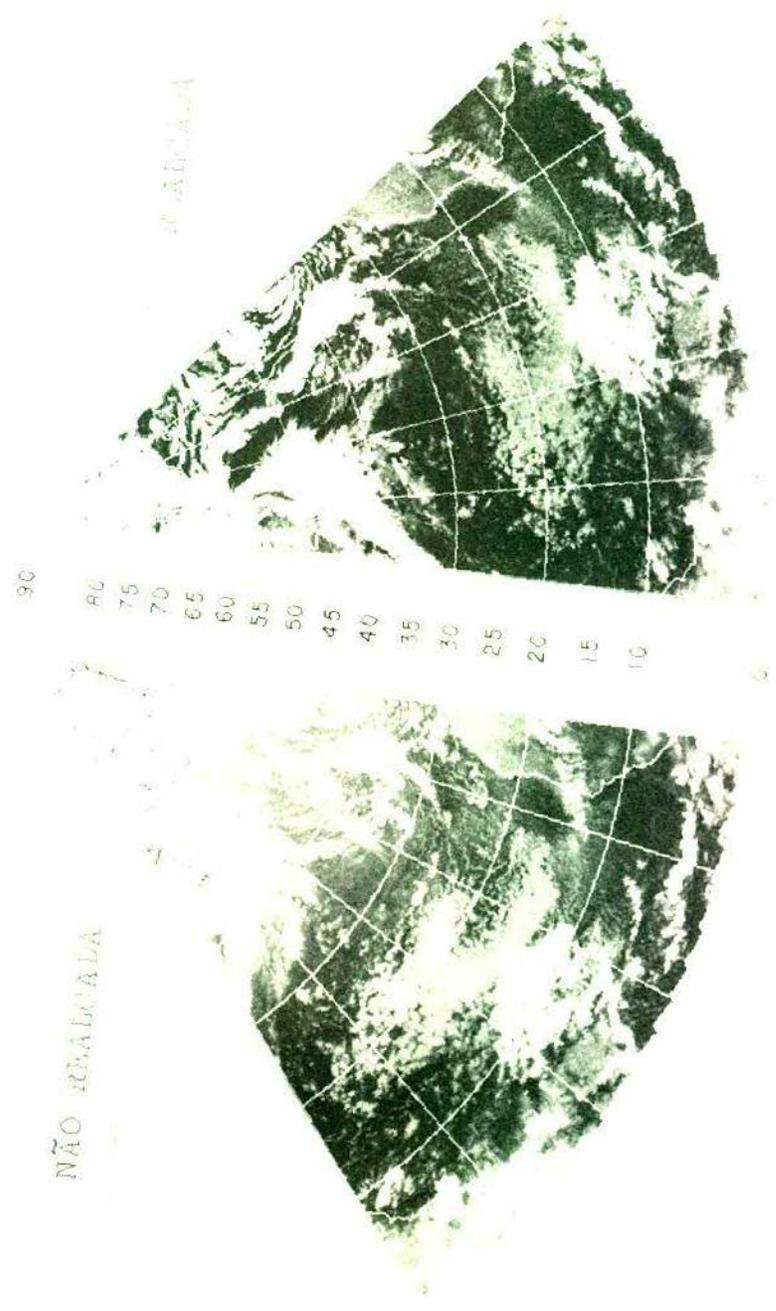
Imagem III.4.1

III.4.1

IMAGEM III.4.2 - REALCE LATITUDINAL

Este exemplo ilustra os efeitos do método de realçamento latitudinal que é feito de 5 em 5 graus, entre $10^{\circ}\text{N}(\text{S})$ e $80^{\circ}\text{N}(\text{S})$, isto é, de 5 em 5 graus há uma mudança de escala dos níveis de cinza. A parte inferior do diagrama mostra um exemplo desta variação de escala.

Na parte superior da figura, aparece a mesma imagem com realce e sem realce latitudinal. Na versão sem realce, os níveis de cinza estão distribuídos no intervalo de temperatura de $+25^{\circ}$ a -70°C desde o equador até o polo. A versão realçada mostra os dados em intervalos de temperatura diferentes, de acordo com o diagrama na parte inferior. Até 30°N , ambas as imagens parecem muito similares. À medida que a superfície do oceano fica mais fria, a norte de 30°N , o contraste entre as nuvens baixas e o oceano fica menor na imagem não realçada. Na imagem com realce, os oceanos ficam escuros até mais a norte de 70°N . Isto aumenta o contraste entre as nuvens e o chão e torna mais fácil identificar as nuvens.



NÃO IGUADEADA

IGUADEADA

90
80
75
70
65
60
55
50
45
40
35
30
25
20
15
10

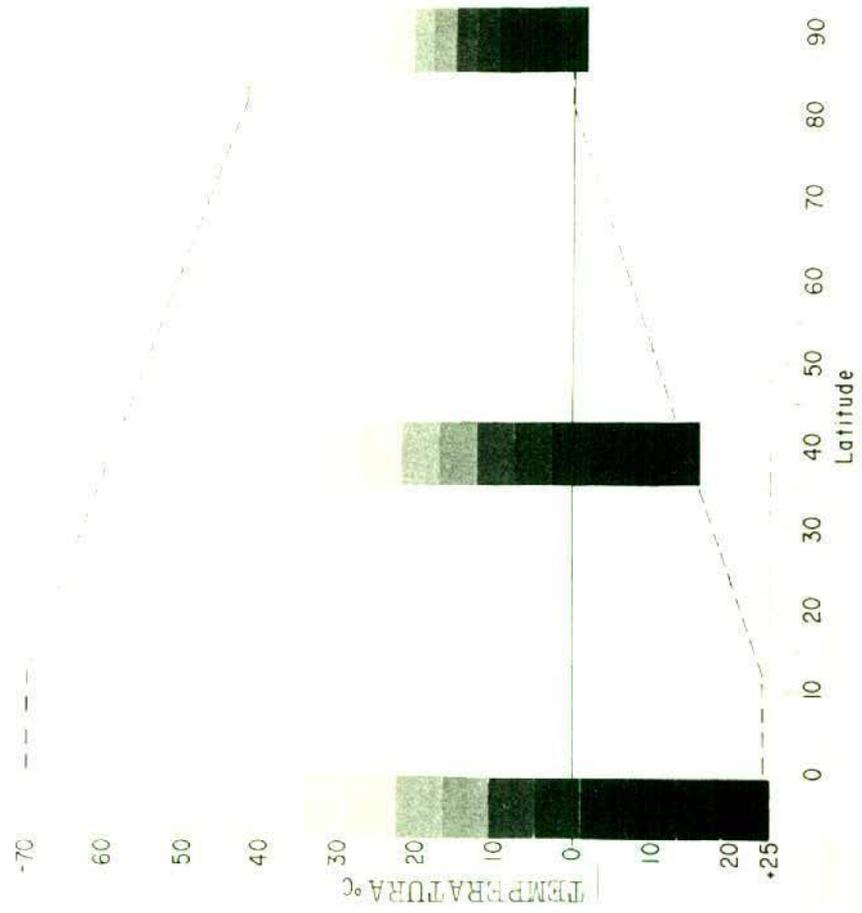


Imagem III.4.2

III.4.2

IMAGEM III.4.3 - ESTUDO DA ESTRUTURA VERTICAL DAS NUVENS

Aqui mostra-se um outro tipo de realce dos dados para estudo da estrutura vertical das perturbações.

Os dados de IV, à esquerda, estão mostrados com 16 níveis diferentes de cinza. Os mesmos dados estão à direita, com apenas 7 níveis de cinza. Na coluna, ao lado de cada imagem, tem-se correspondência dos cinzas com as temperaturas. Na imagem à esquerda, toda temperatura inferior a -50°C aparece em branco e na imagem à direita, toda temperatura acima de -50°C é indicada por preto. Desta maneira, toda nuvem (A, B, C, D) que tenha atingido temperatura inferior a -50°C será facilmente identificada de tal maneira que se possa distinguir as nuvens convectivas (bigorna de Cb), com topo mais frio, das camadas de nuvens altas também frias, porém, não tanto quanto o topo dos Cb. Nas indicações C, D e E sobressaem-se os âmagos mais gelados e ativos das trovoadas que estão ocorrendo numa extensa área. A escala de cinza, aplicada a estes dados, poderia ser modificada para estudo da estrutura das nuvens médias, por exemplo, fazendo toda temperatura superior a 0°C corresponder ao preto e toda a temperatura inferior a -20°C aparecer como branco. Desta maneira, os cinzas seriam distribuídos por um intervalo de temperatura de 20°C que permitiria distinguir somente nuvens médias, no caso de uma atmosfera tropical.

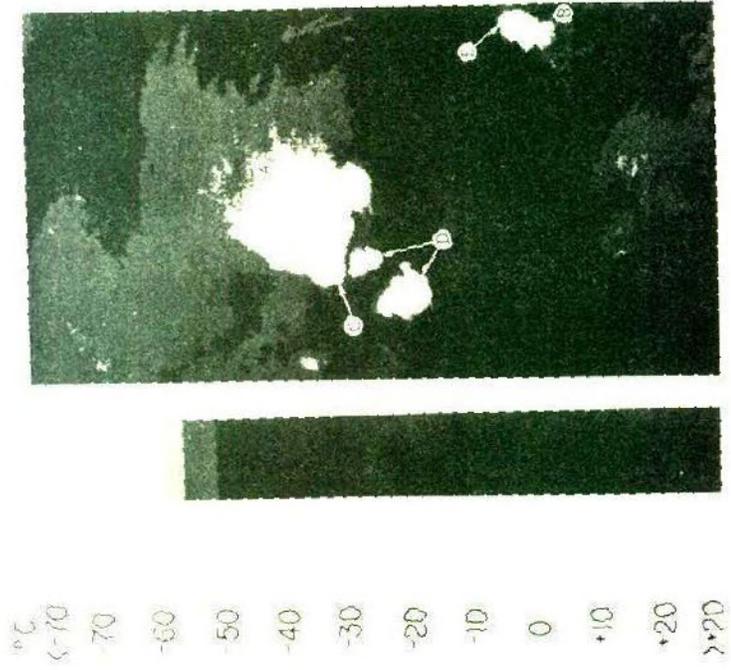


Imagem III.4.3

III.4.3

IMAGEM III.4.4 E III.4.5 - NUVENS BAIXAS E TEMPERATURA DO SOLO - REALCE NÃO LINEAR

Na imagem IV III.4.4 foi usado sô uma forma de realce latitudinal, o mesmo usado na imagem III.4.2. Isto quer dizer que a escala de cinzas varia linearmente em toda a imagem. Para cada incremento de temperatura, haverá igual variação do valor do nível de cinzas (de acordo com a medição do densitômetro). As nuvens altas e frias aparecem bem nesta imagem, mas as baixas, como os stratocumuli (letra A), são escuros e difíceis de serem identificados.

A imagem III.4.5 contém duas formas de realce. Além do realce latitudinal, usado em III.4.4, apresenta também uma variação não linear dos valores dos cinzas para permitir nuvens baixas e quentes serem mais facilmente visíveis. Neste caso, os valores dos níveis de cinza variam mais rapidamente no intervalo de temperaturas altas. Deste modo, há um aumento de contraste entre as nuvens baixas e a superfície da terra. A interrupção nos stratocumuli (A) e a porção pouco ativa (de B para C) da frente aparecem distintamente e são mais fáceis de se identificar nesta imagem do que na III.4.4. As duas linhas tracejadas, diagonalmente sobre a imagem, indicam setores com realce não linear distintos.

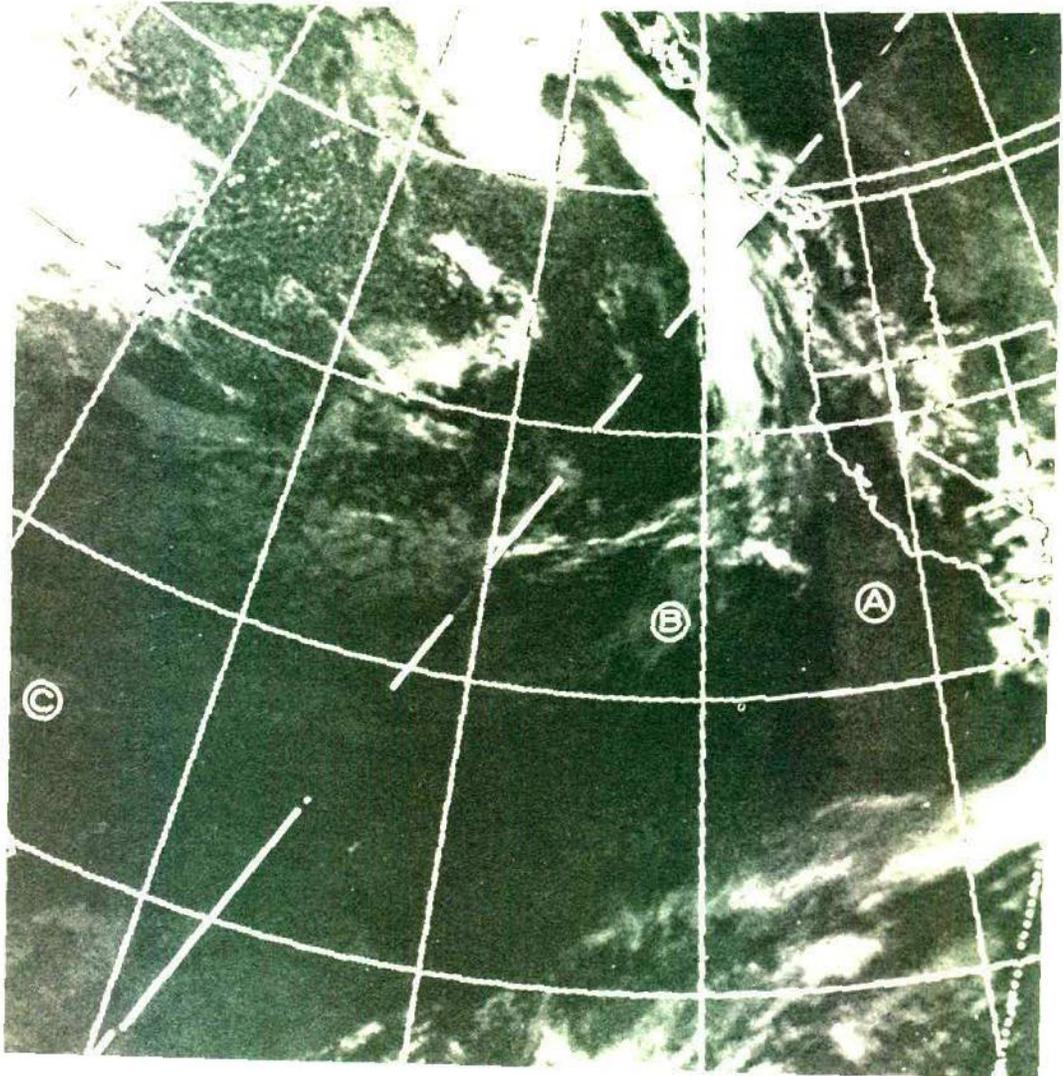


Imagem III.4.4

III.4.4

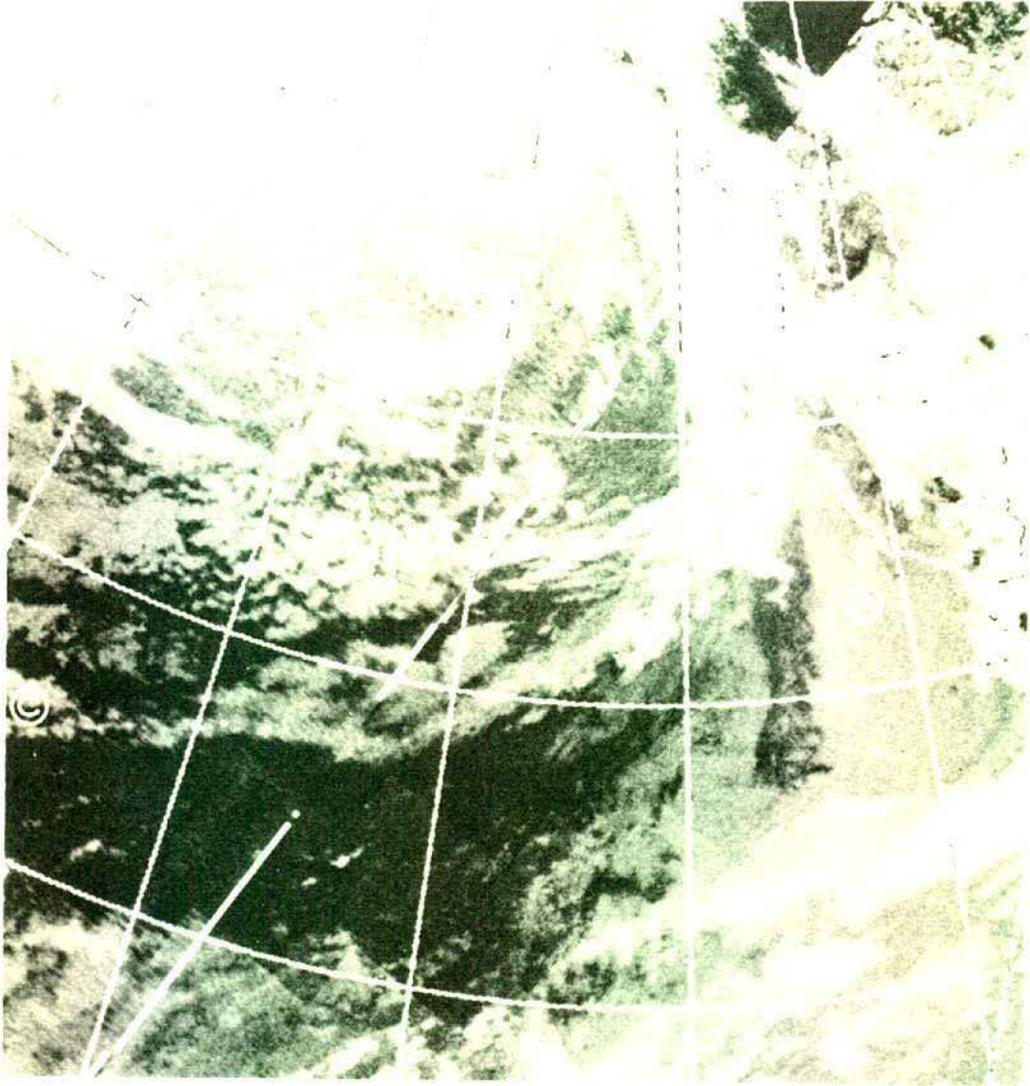


Imagem III.4.5

III.4.5

IMAGEM III.4.6 - A FORMA DOS DADOS BRUTOS

No meio da foto, sobre a faixa branca, mostra-se a plotagem de uma única linha dos dados de IV, resultante de uma varredura do sensor e transmitidos para a estação de recepção em terra. Acima e abaixo do gráfico, expõem-se os dados das varreduras anteriores e posteriores em forma analógica, representados por níveis de cinza (imagem). O ponto mais quente da varredura está na costa da Baja California; as nuvens mais frias são os Cb no oeste do México e os Ci perto do horizonte oeste.

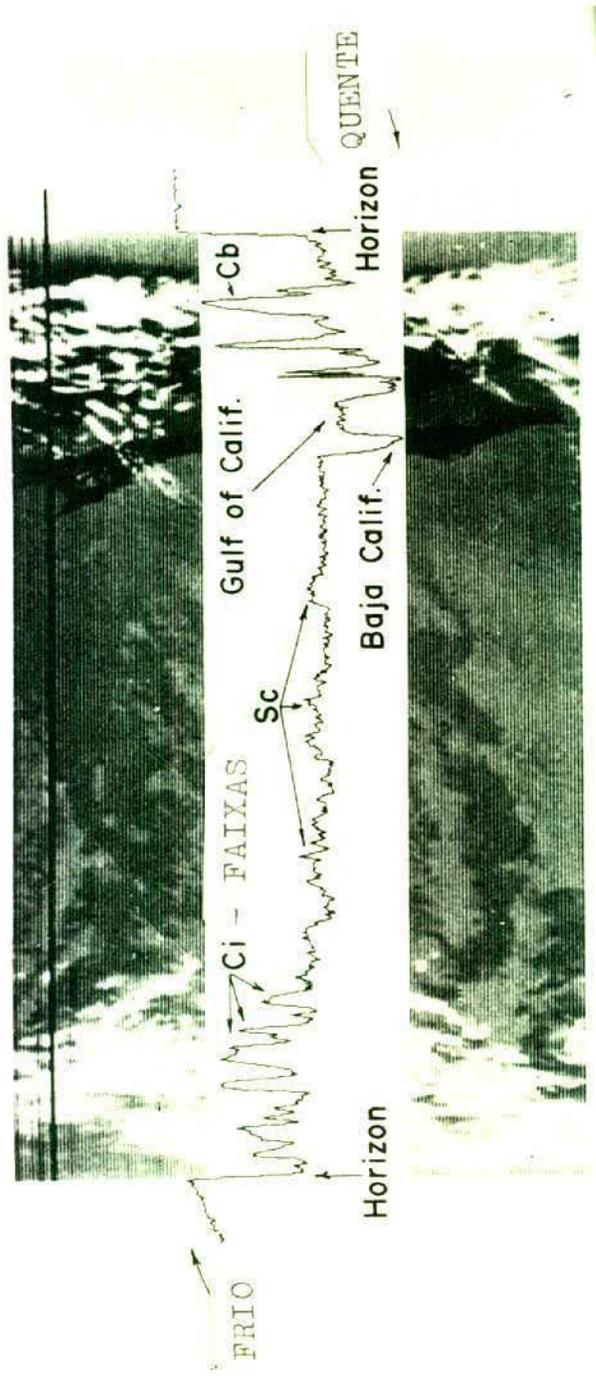


Imagem III.4.6

III.4.6

REFERÊNCIAS

- ANDERSON, R.K., et al. - *Applications of Meteorological Satellite Data in Analysis and Forecasting*. ESSA Tech.Rep. NESC 51, Washington, D.C., 1974.
- ANDERSON, R.K., et al. - *The Use of Satellite Pictures in Weather Analysis and Forecasting*. WMO, nº 190, TP.96, 1966.
- BARRET, E.C. - *Viewing Weather from Space*. London, Longmans, Green and Co., 140p, 1967.
- CONOVER, J.H. - "The Identifications and Significance of Orographically-Induced Clouds Observed by TIROS Satellites". *J. of App.Met.*, 3, 226, 1964.
- CONOVER, J.H. - "Lee Wave Clouds Photographed from an Aircraft and a Satellite". *Mthly. Weather Rev.*, 19, 79, 1964.
- ERICKSON, C.O. - "Satellite Photography of Convective Clouds and their Relations to the Vertical Wind Shear". *Mthly Weather Rev.*, 92, 283, 1964.
- FRITZ, S. - "The Significance of Mountain Lee Waves as Seen from Satellite Pictures". *J. of App.Met.*, 4, 31, 1965.
- FRITZ, S. - "Pictures from Meteorological Satellites and their Interpretations". *Sp.Sc.Rev.*, 3, 541, 1964.
- GATES, D.M. - "Heat, Radiant and Sensible". in: *Met. Monographs*, nº 28, pp 1-26, 1965.

- HUBERT, L.F. e KRUEGER, A.F. - "Satellite Pictures of Mesoscale Eddies".
Mthly Weather Rev., 90, 457, 1962.
- KONDRATYEV, K.Ya. - *Meteorological Investigations with Rockets and Satellites*. Washington, NASA TT F-115, 284 pp, 1963.
- KRUEGER, A.F. e FRITZ, S. - "Cellular Cloud Pattern Revealed by TIROS I".
Tellus, 13, I, 1961.
- MILLER, D.B. e FREDDER, R.G. - *Global Atlas of Relative Cloud Cover 1967 - 70*". NOAA, MAC e USAF, Washington, D.C. 1971.
- NAGLE, R.E. e SEREBRENY, S.M. - "Radar Precipitation Echo and Satellite Cloud Observations of Maritime Cyclone". *J. of App.Met.*, I, 279, 1962.
- NAGLER, K.M. e SOULES, S.D. - "Cloud Photography from the Gemini IV: Spaceflight". *Bul. of the Am.Met.Soc.*, 46, 522, 1965.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION - *Catalog of Meteorological Satellite Data - ESSA 9 and ITOS 1 Television Cloud Photography*. Key to Meteorological Records Documentation n° 5.326, Washington, D.C., 1972.
- U.S. NAVY - *Guide for Interpretation of Satellite Photography and Nephana-lyses*. Project FAMOS, U.S. Navy, 1967.
- SHENK, W.D. - *Cloud Comparisons between Apollo 6 Photography and ATS 3 and ESSA 3 Photography*. NASA TN D-6470, Washington, D.C., 1971.
- SMITH, W.L. et al. - "The Determinations of Sea-surface Temperature from Satellite High Resolutions IR Window Radiations measurements". *Mthly Weather Rev.*, 8, 604-611, 1970.

VUKOVICH, F.M. - "Detailed Sea-surface Temperature Analysis utilizing NIMBUS HRIR Data". *Mthly Weather Rev.*, 11, 1971.

WIDGER, Jr., W.K. - *Meteorological Satellites*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 280 pp. 1966.

WIDGER, Jr., W.K., et al. - *Practical Interpretations of Meteorological Satellite Data*. Aracon Geophysics Co., Concord, Mass. Final Report, Contr. AF19 (628)-2471, 380 pp., 1964.

WEXLER, H., et al. - *Proceedings of the First International Symposium on Rocket and Satellite Meteorology*. Washington, D.C., 1962.